

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 波長分割多重光通信システムにおいて伝送特性を均一化させるための装置であって、波長分割多重される各信号光毎に、信号対雑音比の変化と受信側での伝送誤り率の変化との関係を算出する関係算出手段と、

該関係に基づいて、前記受信側での各信号光間の伝送誤り率が均一になるように前記各信号光の信号対雑音比を変化させる信号対雑音比変化手段と、を含むことを特徴とする伝送特性均一化装置。

【請求項 2】 波長分割多重光通信システムにおいて伝送特性を均一化させるための方法であって、波長分割多重される各信号光毎に、信号対雑音比の変化と受信側での伝送誤り率の変化との関係を算出し、該関係に基づいて、前記受信側での各信号光間の伝送誤り率が均一になるように前記各信号光の信号対雑音比を変化させる、過程を含むことを特徴とする伝送特性均一化方法。

【請求項 3】 波長分割多重光通信システムにおいて伝送特性を均一化させるための装置であって、波長分割多重される各信号光毎に、受信側での伝送誤り率の目標下限値に対応する信号対雑音比の値を基準値として、それと現在の信号対雑音比の値との差分値を余裕度として算出する余裕度算出手段と、前記各信号光毎に、その信号対雑音比の余裕度が前記余裕度算出手段により算出された各信号光毎の余裕度から求まる所定値になるようにその信号対雑音比を制御する信号対雑音比制御手段と、を含むことを特徴とする伝送特性均一化装置。

【請求項 4】 波長分割多重光通信システムにおいて伝送特性を均一化させるための方法であって、波長分割多重される各信号光毎に、受信側での伝送誤り率の目標下限値に対応する信号対雑音比の値を基準値として、それと現在の信号対雑音比の値との差分値を余裕度として算出し、前記各信号光毎に、その信号対雑音比の余裕度が前記算出された各信号光毎の余裕度から求まる所定値になるようにその信号対雑音比を制御する、過程を含むことを特徴とする伝送特性均一化方法。

【請求項 5】 波長分割多重光通信システムにおいて伝送特性を均一化させるための装置であって、波長分割多重される各信号光毎に、信号対雑音比の初期値を記憶する第 1 の記憶手段と、前記各信号光毎に、受信側での伝送誤り率が目標下限値に下がるまで、該信号光に自然光雑音を重畳させて信号対雑音比を順次減少させる信号対雑音比減少手段と、前記各信号光毎に、受信側での伝送誤り率が前記目標下限値になったときの信号対雑音比の値を目標下限値として記憶する第 2 の記憶手段と、前記各信号光毎に、前記第 1 の記憶手段に記憶されてい

る初期値から前記第 2 の記憶手段に記憶されている目標下限値までの変化幅を余裕度として算出する余裕度算出手段と、

前記各信号光毎に、前記余裕度算出手段により算出された各信号光毎の余裕度から求まる所定値と前記第 1 の記憶手段に記憶されている初期値との差分を算出し、それを該信号光に対応する信号対雑音比のプリアンファシス量として算出するプリアンファシス量算出手段と、前記各信号光毎に、前記プリアンファシス量に対応する自然光雑音を該信号光に重畳させてその信号対雑音比を制御する信号対雑音比制御手段と、を含むことを特徴とする伝送特性均一化装置。

【請求項 6】 波長分割多重光通信システムにおいて伝送特性を均一化させるための方法であって、波長分割多重される各信号光毎に、信号対雑音比の初期値を記憶し、前記各信号光毎に、受信側での伝送誤り率が目標下限値に下がるまで、該信号光に自然光雑音を重畳させて信号対雑音比を順次減少させ、

前記各信号光毎に、受信側での伝送誤り率が前記目標下限値になったときの信号対雑音比の値を目標下限値として記憶し、

前記各信号光毎に、前記記憶されている初期値から前記記憶されている目標下限値までの変化幅を余裕度として算出し、

前記各信号光毎に、前記算出された各信号光毎の余裕度から求まる所定値と前記記憶されている初期値との差分を算出し、それを該信号光に対応する信号対雑音比のプリアンファシス量として算出し、

前記各信号光毎に、前記プリアンファシス量に対応する自然光雑音を該信号光に重畳させてその信号対雑音比を制御する、過程を含むことを特徴とする伝送特性均一化装置。

【請求項 7】 請求項 5 又は 6 に記載の装置又は方法であって、前記信号光への前記自然光雑音の重畳は、送信側で行われる、ことを特徴とする伝送特性均一化装置又は方法。

【請求項 8】 請求項 5 又は 6 に記載の装置又は方法であって、前記信号光への前記自然光雑音の重畳は、受信側で行われる、ことを特徴とする伝送特性均一化装置又は方法。

【請求項 9】 請求項 3 乃至 8 の何れか 1 項に記載の装置又は方法であって、前記各信号光毎の余裕度から求まる所定値は、前記各信号光毎の余裕度の平均値である、ことを特徴とする伝送特性均一化装置又は方法。

【請求項 10】 請求項 1 乃至 9 の何れか 1 項に記載の装置又は方法であって、

前記伝送誤り率はQ値又はビットエラーレートの何れかである、

ことを特徴とする伝送特性均一化装置又は方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長分割多重光通信技術に係り、更に詳しくは、すべての信号光を同じ伝送特性で伝送するための伝送特性の均一化技術に関する。

【0002】

【従来の技術】波長分割多重（WDM：Wave Divisional Multiplex）光通信システムでは、すべての信号光を同じ伝送特性で伝送することを、伝送特性の最適化と呼んでいる。ここで、当該システムには、図10に示されるように、送信部、伝送路、受信部に、図中に示したような伝送特性の劣化が存在し、しかも、各信号光間で伝送特性の劣化状態が異なっている。

【0003】また、システムの運用時に、伝送区間の修理による増幅器やケーブルの割入れ、又はファイバの経年劣化等によって、上記各信号光における伝送特性の劣化状態が異なってくる。

【0004】このため、絶えず送信側の各信号光のプリエンファシスを設定し、受信側における伝送特性を最適化することが必須である。なお、プリエンファシスとは、各信号光のパワーの強弱を制御することをいう。

【0005】上記各信号光間の伝送特性の差は、受信側で、OSNR（Optical Signal to Noise Ratio: 信号対雑音比）、BER（Bit Error Rate: ビット誤り率）、又はQ値のばらつきとして観測することができる。

【0006】図11は、従来技術におけるプリエンファシスと伝送後のOSNRの関係を示す図である。

【0007】従来は、伝送特性を最適化するために、受信側のOSNRを均一化する技術が知られている。この技術では、受信側の各信号光のOSNRをモニタして算出される各信号光間のOSNRのばらつきが、プリエンファシス量として送信側にフィードバックされることにより、送信側のプリエンファシスが設定される。プリエンファシスの設定方法としては、各信号光の出力パワーが直接変化させることによりOSNRを調整する方法が採られている。

【0008】この結果、プリエンファシスが設定されていない送信光スペクトル1が伝送路上を伝送された場合、それに対応する受信光スペクトル1はOSNRのばらつきが大きい、プリエンファシスが設定された送信光スペクトル2が伝送路上を伝送された場合には、それに対応する受信光スペクトル2はOSNRのばらつきが圧縮される。

【0009】図12は上記従来技術の送信部の構成図、図13は同じく受信部の構成図である。

【0010】まず、図12に示される構成を有する送信

部の動作について説明する。

【0011】送信部は、各波長毎に、レーザダイオードドライバ（LD DRIVER）1201、レーザダイオード（LD）1202、アッテネータ（ATT）1203、カプラ（CPL）1204、ポストアンプ（POST AMP）1205、フォトダイオード（PD）1208を有する。レーザダイオードドライバ1201は、出力パワーと各信号光に対応する波長を調整しながら、レーザダイオード1202を駆動する。レーザダイオード1202から出力された信号光は、アッテネータ1203及びカプラ1204を介してポストアンプ1205に入力し、そこで増幅される。各ポストアンプ1205から出力された信号光は、アレイドウェーブガイドグレーティング（AWG）1206によって合波され、カプラ1207を介して伝送路へ出力される。

【0012】図12に示される構成において、各信号光毎に、カプラ1204で各信号光の一部が分岐させられてフォトダイオード1208により検出され、その検出結果がCPU1210に入力させられる。一方、AWG1206から伝送路に出力される送信信号光の一部がカプラ1207で分岐させられて光スペクトラムアナライザ1209に入力させられる。光スペクトラムアナライザ1209は、送信信号光のピークパワーと波長をモニタし、その結果をCPU1210に通知する。CPU1210は、各信号光毎のフォトダイオード1207の出力と、光スペクトラムアナライザ1209の出力とに基づいて、各信号光毎のレーザダイオードドライバ1201及びアッテネータ1203を制御する。

【0013】次に、図13に示される構成を有する受信部の動作について説明する。

【0014】受信部では、まず、伝送路から受信される受信信号光は、カプラ1301を介してAWG1302に入力され、そこで各波長の信号光が分離される。

【0015】受信部は、各波長毎に、各波長の信号光を取り出すためのフィルタ（FILTER）1303、インラインアンプ（INLINE AMP）1304、分散補償ファイバ（DCF）1305、光／電気変換器（O/E）1306、符号誤り検出訂正回路（FEC）1307、及び電気信号分離回路（DEMUX）1308を有する。

【0016】図13に示される構成では、従来技術として、受信信号光の一部がカプラ1301で分岐させられて光スペクトラムアナライザ1309に入力させられる。光スペクトラムアナライザ1309は、各受信信号光のOSNRを計測し、その結果をCPU1310に通知する。CPU1310は、各受信信号光間のOSNRのばらつきを、プリエンファシス量として所定の通信回線を使って送信側にフィードバックする。

【0017】これに対して、図12に示される構成を有する送信部では、CPU1210が上記プリエンファシス量を受信し、それに基づいて各信号光毎のレーザダイ

オードドライバ1201を制御する。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】上述のように、従来技術では、伝送特性を最適化するために、OSNRに着目し、各信号光間でOSNRのみに対して均一化を行っていた。ここで、一般にデジタル伝送においては、伝送特性として最も重要なファクタは伝送誤り率である。従って、伝送特性の最適化において重要なことは、各信号光間の伝送誤り率を均一化することである。しかし、従来技術では、各信号光間のOSNRが均一化されたとしても、そのことが必ずしも各信号光間の伝送誤り率が均一化されることにはならなかった。

【0019】即ち、伝送誤り率としては具体的には、BERやQ値を上げることができるが、従来技術では、図14(a)に示されるように、信号光1, 2, 及び3間でOSNRが均一化されたとしても、各信号光のQ値がずれてしまい、伝送誤り率が均一にならないという問題点を有していた。

【0020】また、従来技術では、送信側のプリエンファシスの設定方法として、CPU1210が、各信号光毎に、レーザダイオードドライバ1201を制御することによりレーザダイオード1202の出力パワーを直接変化させていた。しかし、この方法では、他の信号光のピークパワーも同時に変化し、各信号光のプリエンファシス設定がずれてくるため、各信号光のパワーバランスを見ながら各信号光のプリエンファシス設定を繰り返す必要があるという問題点を有していた。

【0021】本発明の課題は、図14(b)に示されるように、送信側でOSNRを調整することにより、受信側で各信号光間の伝送誤り率を均一化して伝送特性の真の最適化を図ることにある。

【0022】

【課題を解決するための手段】本発明は、波長分割多重光通信システムにおいて伝送特性を均一化させるための装置又は方法を前提とする。

【0023】本発明の第1の形態は、以下の構成を有する。

【0024】まず、波長分割多重される各信号光毎に、信号対雑音比の変化と受信側での伝送誤り率の変化との関係が算出される。

【0025】次に、その関係に基づいて、受信側での各信号光間の伝送誤り率が均一になるように各信号光の信号対雑音比が変化させられる。

【0026】本発明の第2の形態は、以下の構成を有する。

【0027】まず、波長分割多重される各信号光毎に、受信側での伝送誤り率の目標下限値に対応する信号対雑音比の値を基準値として、それと現在の信号対雑音比の値との差分値が余裕度として算出される。

【0028】次に、各信号光毎に、その信号対雑音比の

余裕度が算出された各信号光毎の余裕度から求まる所定値になるようにその信号対雑音比が制御される。

【0029】本発明の第3の形態は、以下の構成を有する。

【0030】まず、波長分割多重される各信号光毎に、信号対雑音比の初期値が記憶される。

【0031】次に、各信号光毎に、受信側での伝送誤り率が目標下限値に下がるまで、その信号光に自然光雑音を重ねられて信号対雑音比が順次減少させられる。

【0032】次に、各信号光毎に、受信側での伝送誤り率が目標下限値になったときの信号対雑音比の値が目標下限値として記憶される。

【0033】次に、各信号光毎に、記憶されている初期値から記憶されている目標下限値までの変化幅が余裕度として算出される。

【0034】次に、各信号光毎に、算出された各信号光毎の余裕度から求まる所定値と記憶されている初期値との差分が算出され、それがその信号光に対応する信号対雑音比のプリエンファシス量として算出される。

【0035】そして、各信号光毎に、プリエンファシス量に対応する自然光雑音がその信号光に重ねられてその信号対雑音比が制御される。

【0036】ここで、上述の信号光への自然光雑音の重畳は、送信側で行われる、又は受信側で行われるように構成することができる。

【0037】上述の発明の構成において、各信号光毎の余裕度から求まる所定値は、各信号光毎の余裕度の平均値であるように構成することができる。

【0038】上述の発明の構成において、伝送誤り率はQ値又はビットエラーレートの何れかであるように構成することができる。

【0039】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態について詳細に説明する。

【0040】図1は本発明の実施の形態における送信部の構成図、図2は同じく受信部の構成図である。

【0041】図1において、レーザダイオードドライバ101、レーザダイオード102、カプラ103、ポストアンプ107、AWG109、フォトダイオード110、カプラ111、及び光スペクトラムアナライザ112は、それぞれ、図12に示される従来技術における1201、1202、1204、1205、1206、1208、1207、及び1209の各部分と同じ機能を有する。

【0042】また図2において、カプラ201、AWG202、フィルタ203、インラインアンプ204、分散補償ファイバ205、光/電気変換器207、符号誤り検出訂正回路208、電気信号分離回路209、及び光スペクトラムアナライザ213は、それぞれ図13に示される従来技術における1301~1309の各部分

と同じ機能を有する。

【0043】図14(b)に示したように、各信号光について、OSNRを変化させると、伝送特性の理想ファクタであるQ値やBERが変化することがわかる。この関係から、本実施の形態では、伝送特性の最適化のために、各信号光毎に、OSNRの変化と受信側でのQ値又はBERの変化との関係が算出され、その算出結果に基づいて、受信側での各信号光間のQ値又はBERが均一になるように各信号光のOSNRが変化させられることが、本発明に関連する特徴である。

【0044】より具体的には、図1及び図2に示される構成を有する本実施の形態では、各信号光毎に、受信側でのQ値又はBERの目標下限値に対応する送信側のOSNRの値を基準値としてそれと現在の送信側のOSNRの値との差分値が余裕度として算出され、各信号光間で上記余裕度の平均値が算出され、各信号光毎にそのOSNRの余裕度が上記平均値になるように、各信号光の送信側のOSNRに対するプリエンファシス設定が行われる。なお、この制御では、送信側のOSNRの単位変化量に対する受信側のQ値又はBERの変化量は、各信号光間でほぼ均一であると仮定されている。

【0045】受信側でQ値が測定される場合には、図2のカプラ206で取り出された各受信信号光の一部がQモニタ(Q MON)210に入力することによりそこで測定される。

【0046】受信側でBERが測定される場合には、図2の符号誤り検出訂正回路208の出力がBER測定器211に入力することによりそこで測定される。

【0047】送信側のプリエンファシス設定では、図1において、各信号光のレーザダイオード102の出力と、ASE出力部104から出力される自然光雑音(ASE: Amplified Spontaneous Emission)とがカプラ106で合波され、そのときの自然光雑音の出力パワーがアッテネータ105によって変化させられる。この場合に、合波後の信号光は、ポストアンプ107で増幅させられた後に、狭帯域フィルタ108を介してAWG109に入力する。このため、各信号光のプリエンファシス設定は、各信号光間のパワーバランスを崩すことなく、同時に行うことができる。

【0048】以下に、上記動作を実現するための具体的な動作について説明する。

【0049】まず、上記動作の前提について説明する。

【0050】OSNRは、狭帯域フィルタ108の後段で測定される場合には、自然光雑音の測定ポイントが設定しづらく測定が困難であることから、各信号光毎に狭帯域フィルタ108の前段で測定される。

【0051】レーザダイオード102の出力パワー及び波長は、フォトダイオード110によってモニタされる。そして、そのモニタ結果に基づいてCPU113が、レーザダイオードドライバ101にフィードバック

をかけることにより、上記出力パワー及び波長の設定値の補正を行う。ASE出力部104から出力される自然光雑音の出力パワーは、APC(自動パワー制御)によって常に一定に維持され、また波長特性はフラットである。そこで、CPU113は、フォトダイオード110が検出するレーザダイオード102の出力パワーと、ASE出力部104においてAPCが決定する自然光雑音の出力パワーとの比として、OSNRの初期値 E_{a1} を算出し、記憶しておく。また、CPU113は、OSNRの変化幅を、アッテネータ105の調整量として算出する。

【0052】図3は、上記動作を実現するための本発明の実施の形態の動作フローチャートであり、図4～図6はその説明図である。なお、以下の説明では、受信側でQ値がモニタされる場合を例として説明を行う。

【0053】まず、受信部のCPU212(図2)は、各信号光毎に、Qモニタ210(図2)を介して常時Q値をモニタしながら、送信部に対して、所定の通信チャネルを使って、OSNRの減少を命令する(ステップ301)。

【0054】送信部のCPU113(図1)は、各信号光毎に、上記命令を受信すると、アッテネータ105に対して指定する減衰量を増加させてOSNRを減少させる(ステップ302)。

【0055】受信部のCPU212は、各信号光毎に、Qモニタ210を介して測定されるQ値が目標下限値(図4(b)参照)まで下がったか否かを判定する(ステップ303)。

【0056】各信号光毎に、ステップ303の判定がN Oなら、受信部のCPU212は、上記ステップ301と302の動作を繰り返し実行する。

【0057】以上のようにして、各信号光毎に、図4(b)に示されるように、受信側のBER又はQ値が目標下限値に達するまで、図4(a)に示されるように、送信側で信号光に重畳される自然光雑音(ASE)が順次増加させられ、OSNRが減少させられてゆく。

【0058】各信号光について、ステップ303の判定がYESとなると、受信部のCPU212は、送信部に対して、所定の通信チャネルを使って、OSNRの変化をやめてその値を初期値に戻すことを命令する(ステップ304)。

【0059】これに対して、送信部のCPU113は、下記の一連の処理を実行する(ステップ305)。

【0060】まず、CPU113は、各信号光毎に、上記命令を受信すると、OSNRの変化を現在の値 E_{b1} で停止させ、次式によりOSNRの変化幅 E_1 を、余裕度として算出する。

【0061】

$$【数1】 E_1 = |E_{a1} - E_{b1}|$$

次に、CPU113は、全信号光について、上記数1式

10

20

30

40

50

によるOSNRの余裕度の算出が終了した後に、次式により各信号光間で上記余裕度の平均値 E_{AVG} を算出する。

$$E_{AVG} = (E_1 + E_2 + \dots + E_n) / n \quad (n: \text{信号光数})$$

続いて、CPU113は、各信号光毎に、次式に示されるように、数2式により算出した平均値 E_{AVG} と数1式により算出した各信号光のOSNRの余裕度との差として、プリアンプ量 $\Delta E_1 \sim \Delta E_n$ を算出する(図5参照)。

【0063】

【数3】

$$\Delta E_1 = E_{AVG} - E_{n1}$$

$$\Delta E_2 = E_{AVG} - E_{n2}$$

...

$$\Delta E_n = E_{AVG} - E_{nn}$$

CPU113は、各信号光毎に、アッテネータ105に対して、数3式により算出されたプリアンプ量 $\Delta E_1 \sim \Delta E_n$ に対応する減衰量を設定することにより、各信号光のOSNRが上記平均値 E_{AVG} になるように制御する(図6参照)。

【0064】これ以後、CPU113は、光スペクトラムアナライザ112(図1)の出力をモニタし、各信号光毎のOSNRの値が正確に E_{AVG} になるように、フィードバック制御を実行する(ステップ306)。

【0065】以上の制御動作は、システム運用中いつでも実行することができる。各信号光におけるQ値の目標下限値は、各信号光が問題なく伝送できるレベルに設定されているため、システム運用中に上記動作が実行されたとしても、各信号が不通になることはない。よって、顧客の要求に合わせて、プリアンプ量設定を実行することができる。例えば、1年間に1回、定期的に行ったり、故障箇所を修理した後に行うなど、様々な運用形態を採用することができる。

【0066】図7は、本発明の他の実施の形態における受信部の構成図である。

【0067】この構成では、上記実施の形態における図1の送信部内の104~106、及び108の各機能が図7に示されるように受信部内に配置されることにより、OSNRの制御が、送信部内ではなく受信部内で実行される。

【0068】この場合に、各信号光のOSNRが、カプラ201の出力を入力とする光スペクトラムアナライザ213によって測定され、各信号光のピークパワーが、カプラ701の出力を入力とするフォトダイオード702によって測定される。CPU212は、各信号光毎に、上記OSNRとピークパワーとに基づいて、アッテネータ105の減衰量(プリアンプ量)を決定し、各信号光毎のOSNRを調整する。

【0069】図2又は図7のQモニタ210の動作原理について、以下に説明する。

*【0062】

【数2】

*

【0070】Qモニタ210は、信号光を電気信号に変換した後、信号の識別値をアイパターン上のマーク側とスペース側のそれぞれで変化させることにより、雑音の分布を測定し、マーク側とスペース側のそれぞれのエラーレートを測定する。そしてQモニタ210は、この結果得られる2本のエラーレート曲線を直線近似することによって、その2つの特性が交差する点として、Q値を算出する。

【0071】今、信号のアイパターンと雑音分布との関係は、図8のようにモデル化することができる。ここで、 $P_1(X)$ 、 $P_0(X)$ はそれぞれマーク側、スペース側の雑音確率分布関数である。 μ_1 、 μ_0 はそれぞれの分布の平均値で、信号レベルを表わす。 σ_1 、 σ_0 はそれぞれの分布の分散で、雑音のRMS値を表わす。

【0072】ここで、Q値を次式で定義する。

20 【0073】

【数4】

$$Q = |\mu_1 - \mu_0| / (\sigma_0 + \sigma_1)$$

$$Q_{dB} = 20 \log_{10} \{ |\mu_1 - \mu_0| / (\sigma_0 + \sigma_1) \}$$

次に、 μ_1 、 μ_0 、 σ_0 、 σ_1 の測定法を説明する。

【0074】マーク側のBERと、 μ_1 、 σ_1 、及び D_1 (識別レベル)は、以下の近似式で関係付けられる。

【0075】

$$\text{【数5】 } (\mu_1 - D_1) / \sigma_1 = \phi^{-1}(X) \approx 1.192 - 0.6681X - 0.0162X^2$$

30 $X = \log_{10}(\text{BER})$

スペース側についても同様に、次式が成立する。

【0076】

$$\text{【数6】 } (D_1 - \mu_0) / \sigma_0 = \phi^{-1}(X) \approx 1.192 - 0.6681X - 0.0162X^2$$

$$X = \log_{10}(\text{BER})$$

図9に示されるように、識別レベルを変化させてマーク側、スペース側各2点ずつBERを取得すると、 BER_0' 、 BER_0'' 、 BER_1' 、 BER_1'' 、 D_0' 、 D_0'' 、 D_1' 、 D_1'' が算出される。ここで得られた値を次式で換算することにより、 μ_0 、 μ_1 、 σ_0 、 σ_1 を算出できる。

【0077】

$$\text{【数7】 } \sigma_1 = (D_1'' - D_1') / \{ \phi^{-1}(X_1') - \phi^{-1}(X_1'') \}$$

$$\mu_1 = \{ D_1'' \phi^{-1}(X_1') - D_1' \phi^{-1}(X_1'') \} / \{ \phi^{-1}(X_1') - \phi^{-1}(X_1'') \}$$

$$\sigma_0 = (D_0' - D_0'') / \{ \phi^{-1}(X_0') - \phi^{-1}(X_0'') \}$$

$$\mu_0 = \{ D_0'' \phi^{-1}(X_0') - D_0' \phi^{-1}(X_0'') \} / \{ \phi^{-1}(X_0') - \phi^{-1}(X_0'') \}$$

50

これらの結果と数4式により、Q値を算出できる。

【0078】

【発明の効果】本発明によれば、伝送特性の最適化のために、各信号光毎に、信号対雑音比の変化と受信側での伝送誤り率の変化との関係が算出され、その算出結果に基づいて、受信側での各信号光間の伝送誤り率が均一になるように各信号光の信号対雑音比が変化させられるため、伝送特性の真の最適化を実現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態における送信部の構成図である。

【図2】本発明の実施の形態における受信部の構成図である。

【図3】本発明の実施の形態の動作フローチャートである。

【図4】送信側OSNRの可変幅を示す図である。

【図5】送信側信号光のプリエンファシス量を示す図である。

【図6】送信側信号光のプリエンファシス設定を示す図である。

【図7】本発明の他の実施の形態における受信部（受信部でのプリエンファシス設定）の構成図である。

【図8】アイパターンと雑音分布の関係図である。

【図9】識別レベルを可変した場合のエラーレートを示す図である。

【図10】伝送特性の劣化原因の説明図である。

【図11】従来技術におけるプリエンファシスと伝送後

のSNRの関係を示す図である。

【図12】従来技術の送信部の構成図である。

【図13】従来技術の受信部の構成図である。

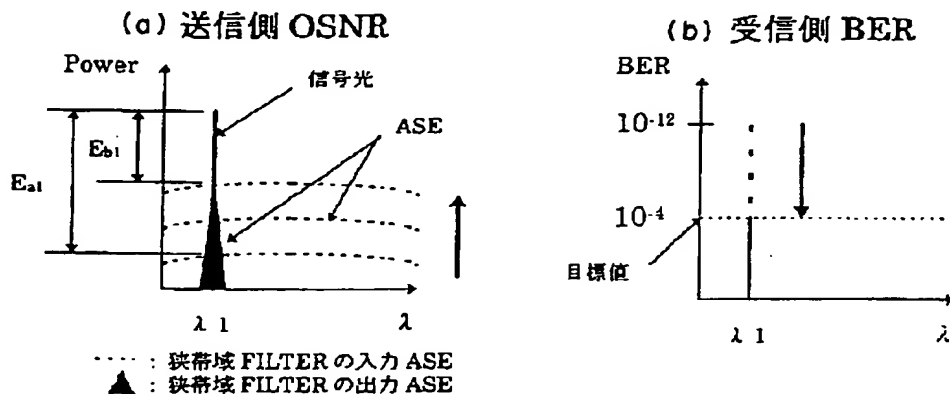
【図14】Q値（伝送特性）とOSNRの関連図である。

【符号の説明】

101	レーザダイオードドライバ
102	レーザダイオード
103、106、111、201、206、701	カプラ
104	ASE出力部
105	アッテネータ
107	ポストアンプ
108	狭帯域フィルタ
109、202	アレイドウェーブガイドグレーティング
110、702	フォトダイオード
112、213	光スペクトラムアナライザ
113、212	CPU
203	フィルタ
204	インラインアンプ
205	分散補償ファイバ
207	光／電気変換器
208	符号誤り検出訂正回路
209	電気信号分離回路
210	Qモニタ
211	BER測定器

【図4】

送信側 OSNR の可変幅を示す図



【図 10】

本発明の実施の形態における送信部の構成図



＜受信機＞
・送信機
・名信号光のハ「バ」ジスによる非特種効果の無い。

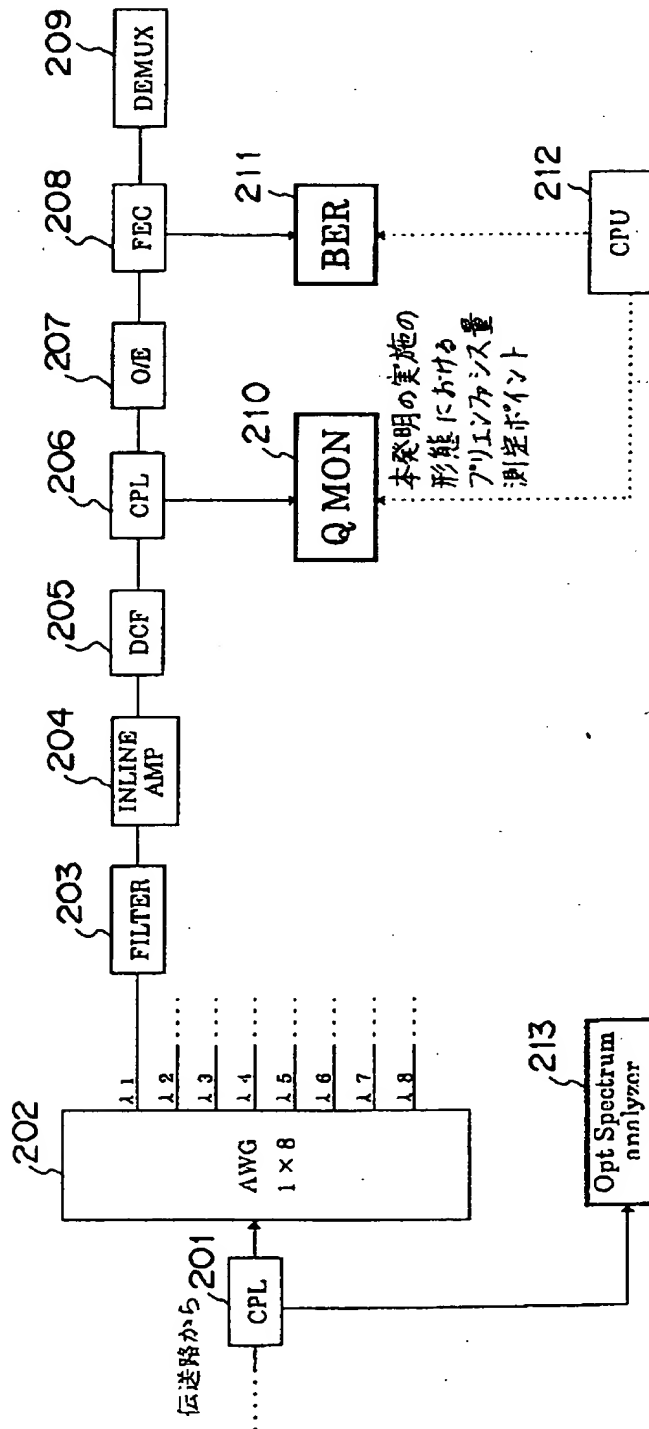
・フアィバィ分岐
・非線形効果
・密閉圧

＜受償部＞

- ・DCF(分岐補償ファイバ)の設定
- ・受光ハワ-の設定
- ・受信機の帯域

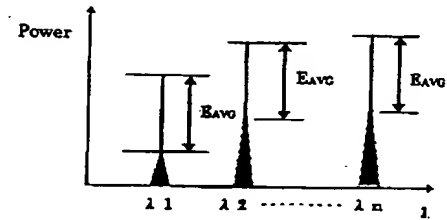
【図2】

本発明の実施の形態における
受信部の構成図



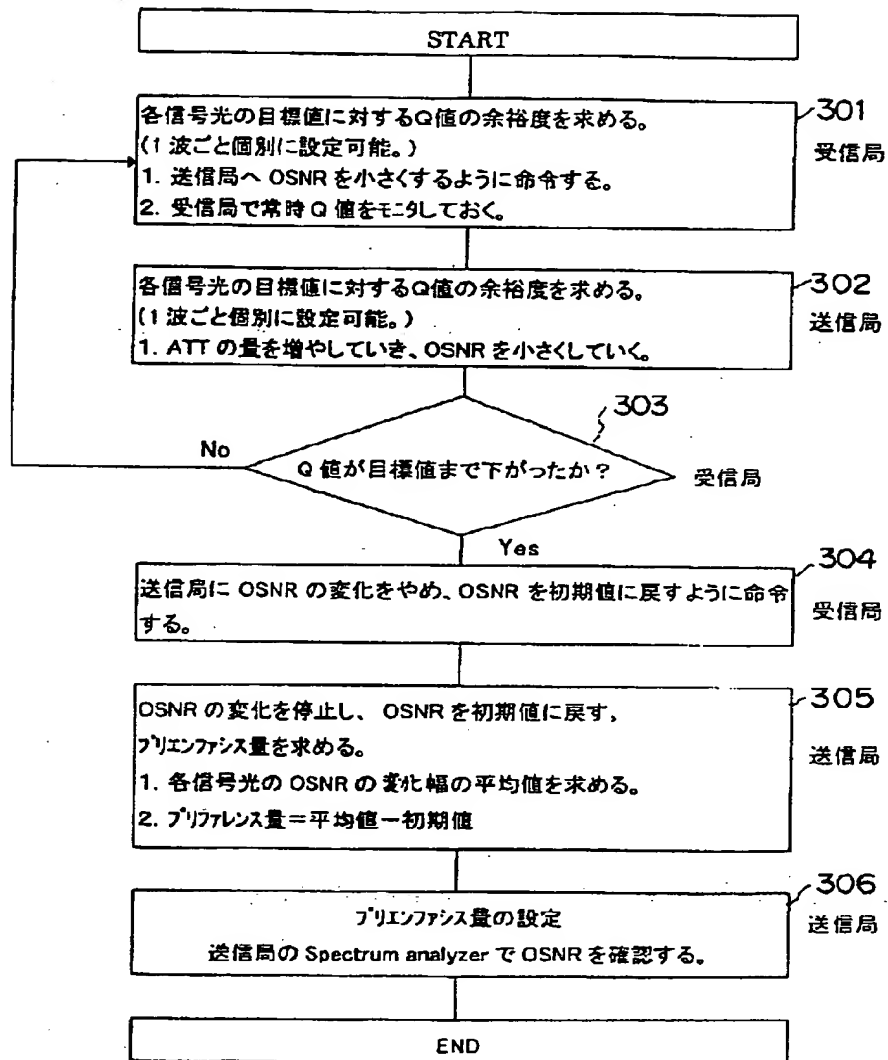
【図6】

送信側信号光のプリエンフィス設定を示す図



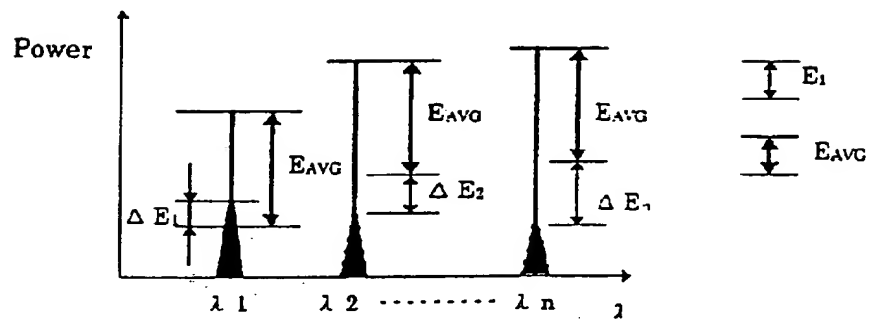
【図 3】

本発明の実施の形態の動作フローチャート



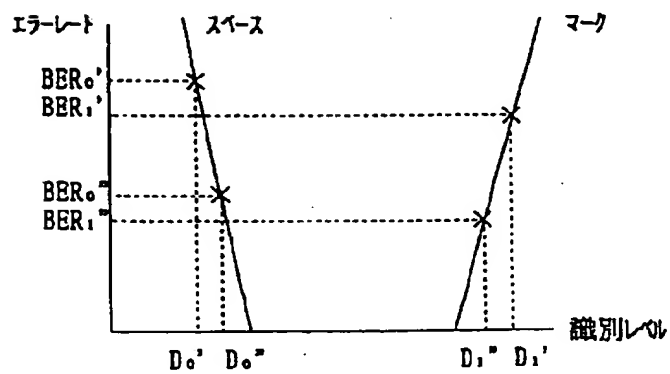
【図5】

送信側信号光のプリエンファシス量を示す図

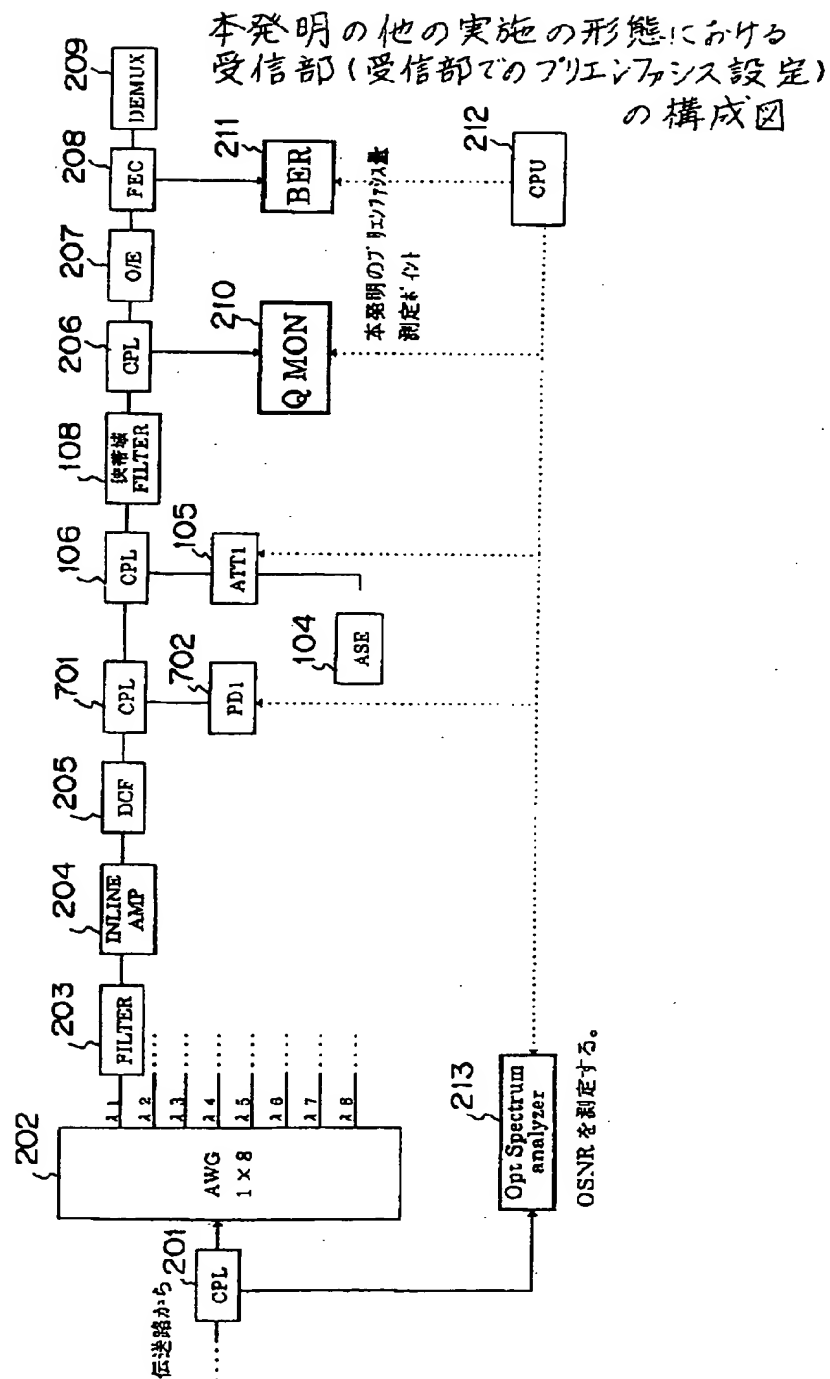


【図9】

識別レベルを可変した場合の
エラーレートを示す図

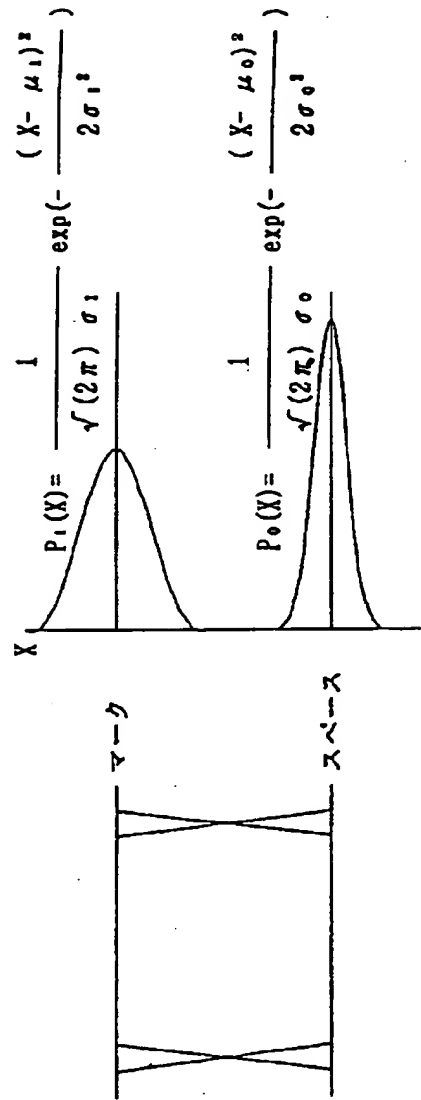


【図7】



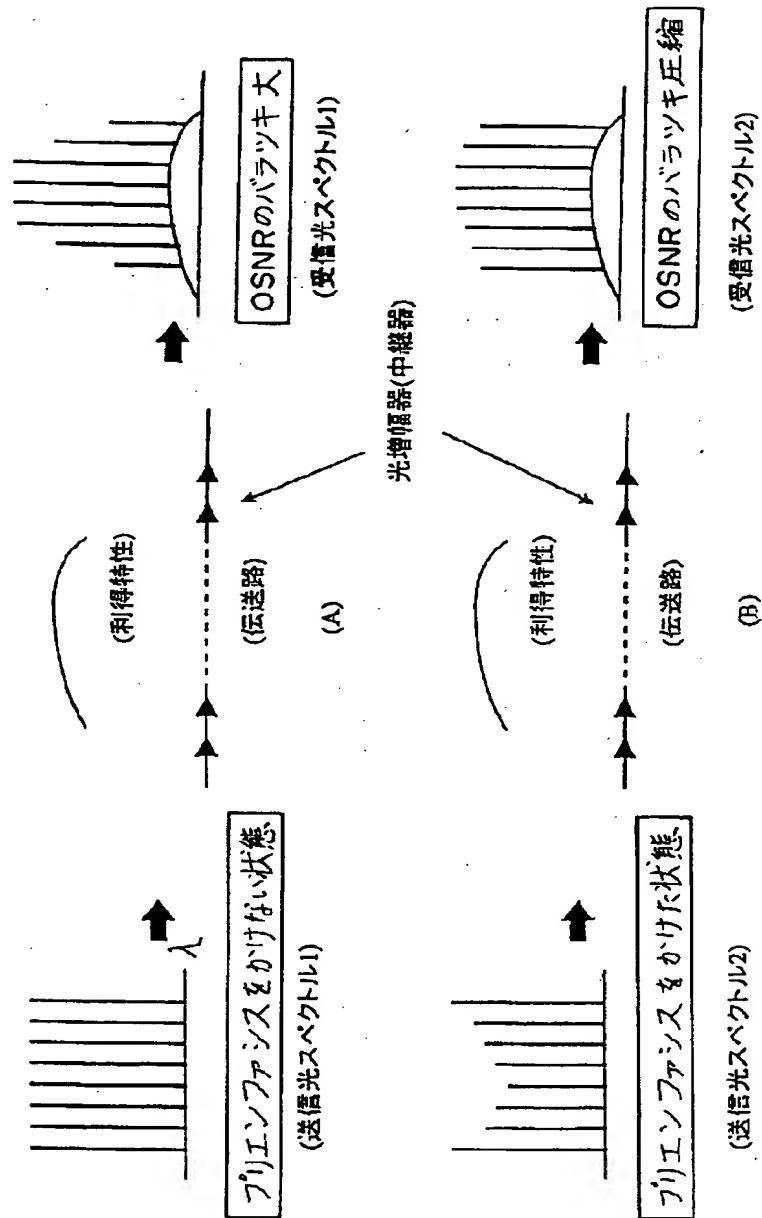
【図8】

アイパターンと雑音分布の関係図



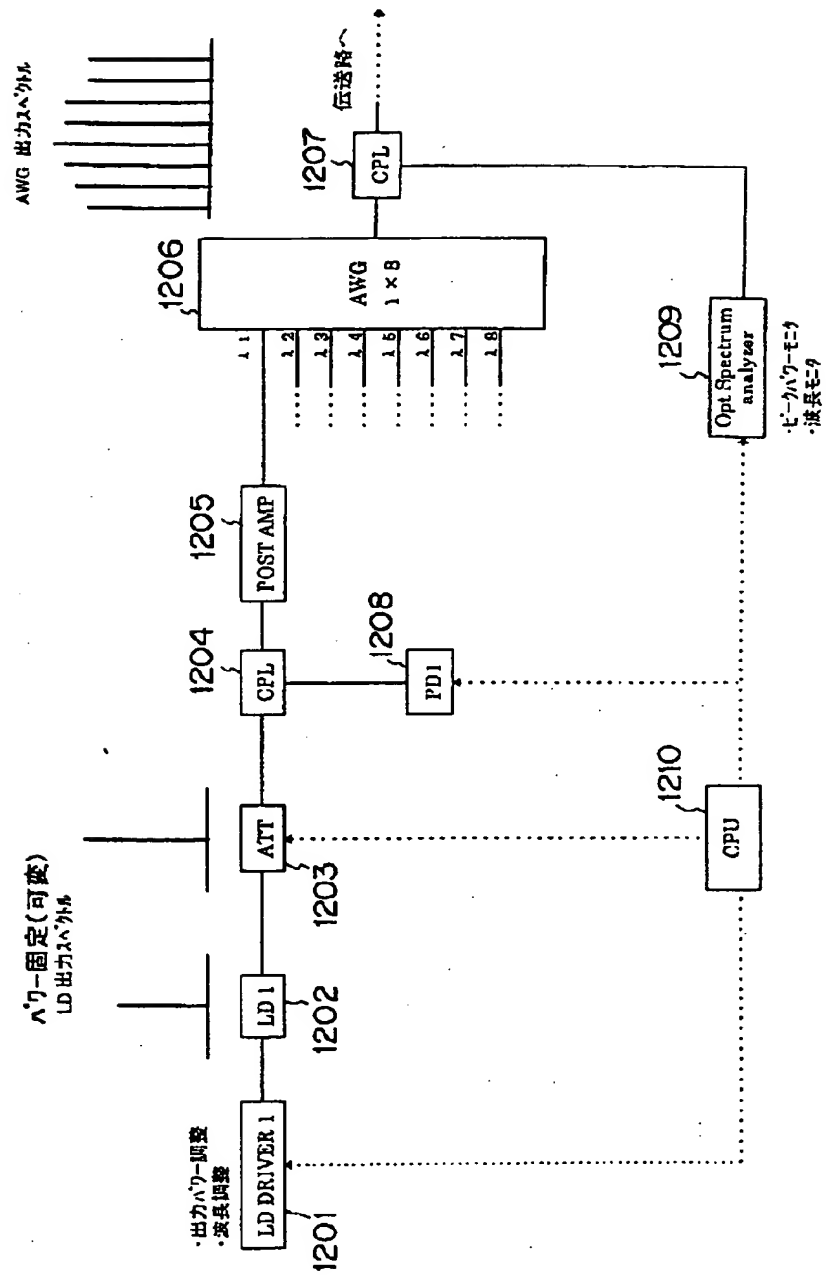
【図11】

従来技術における
プリアンファシスと伝送後の SNR の関係を示す図



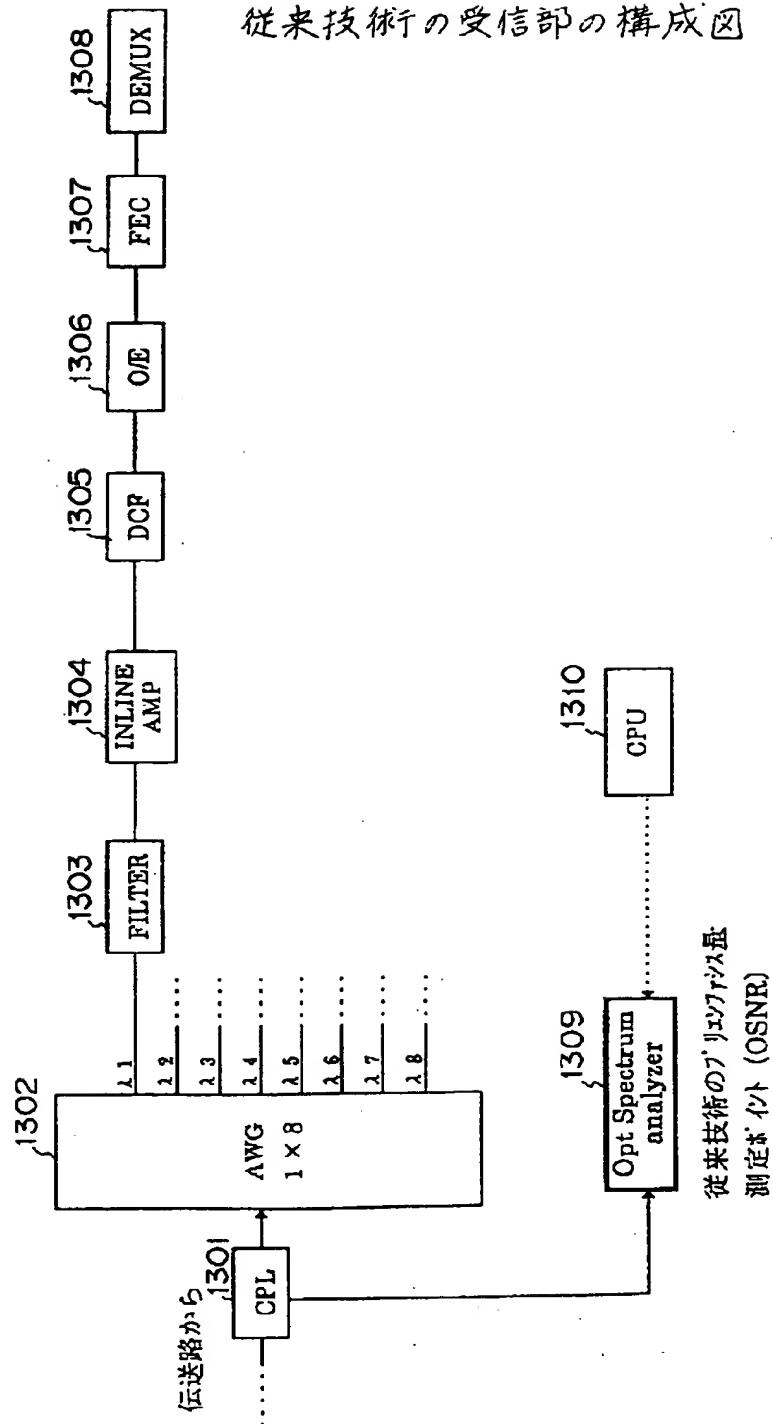
【図12】

従来技術の送信部の構成図



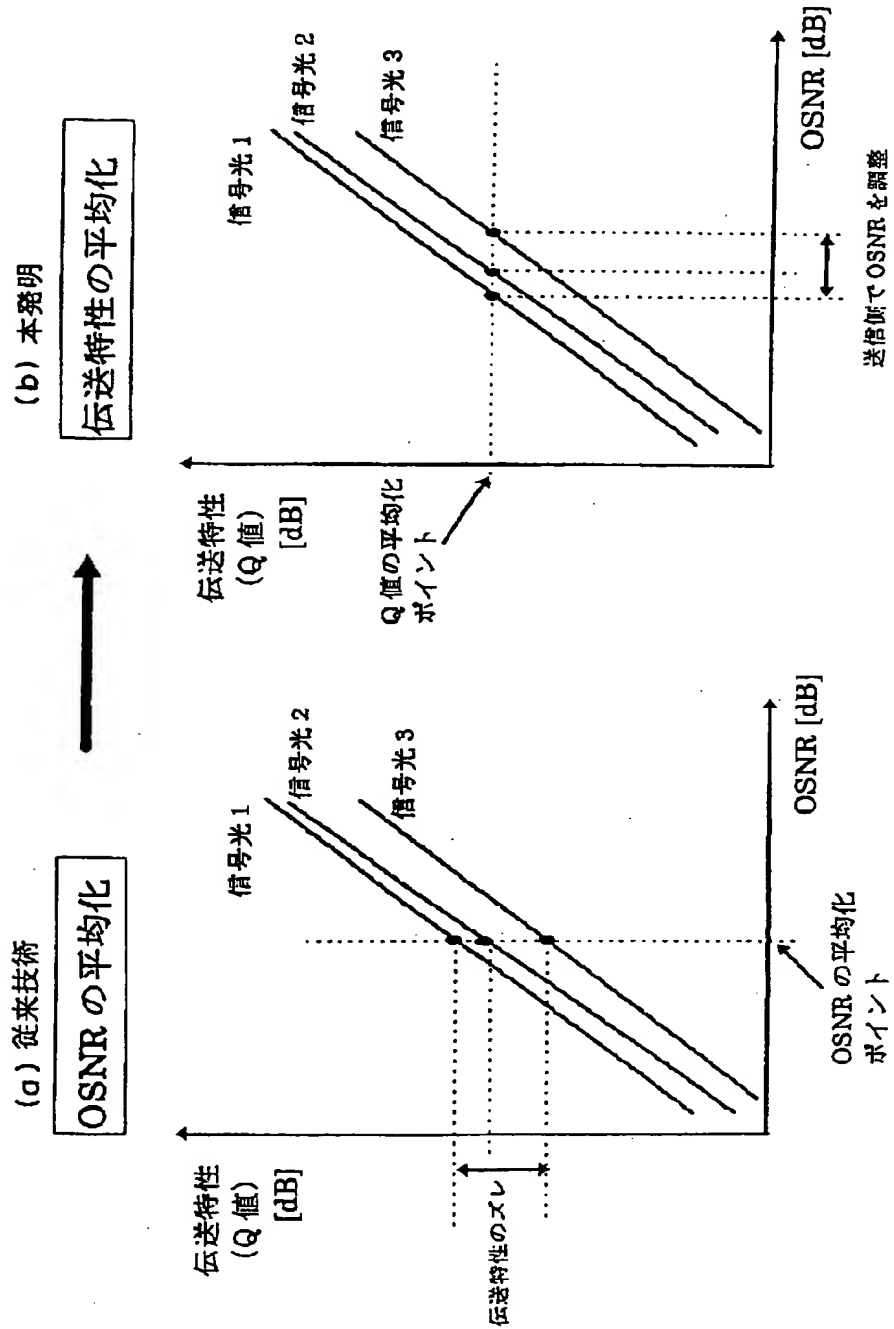
【図13】

従来技術の受信部の構成図



【図14】

Q値(伝送特性)とOSNRの関連図



フロントページの続き

Fターム(参考) 5K002 AA01 AA03 BA13 BA15 CA02
CA08 DA02 DA05 FA01
5K046 AA08 BB05 CC30 DD01 DD13
DD25 DD29
5K052 AA01 AA03 BB14 DD07 EE12
EE13 GG13 GG57

AN APPARATUS AND METHOD FOR MAKING TRANSMISSION
CHARACTERISTICS UNIFORM IN A WAVELENGTH DIVISION
MULTIPLEXING OPTICAL COMMUNICATIONS SYSTEM

5 Background of the Invention

Field of the Invention

The present invention relates to a wavelength
division multiplexing optical communications
technology, and more particularly to a technique for
10 making transmission characteristics uniform for
transmitting all optical signals with the same
transmission characteristics.

Description of the Related Art

15 In a wavelength division multiplexing (WDM)
optical communications system, transmitting all
optical signals with the same transmission
characteristics is referred to as optimization of
transmission characteristics. In the wavelength
20 division multiplexing optical communications system,
as shown in Fig. 1, the deterioration of transmission
characteristics occurs in a transmitter, a
transmission line, and a receiver. Moreover, the
deterioration conditions of transmission
25 characteristics differ between optical signals.

Furthermore, when operating a system, the deterioration conditions of transmission characteristics are different between optical signals, due to various causes, such as the repair of an amplifier or a cable, which results from repairs conducted in a transmission section, and the deterioration of a fiber due to age.

Therefore, pre-emphasis must always be set for each optical signal at the transmitting end, and transmission characteristics must always be optimized at the receiving end. Note that pre-emphasis refers to controlling the power of each optical signal.

The difference in transmission characteristics between optical signals can be observed at the receiving end, as differences in an OSNR (Optical Signal to Noise Ratio), BER (Bit Error Rate), or Q-value.

Fig. 2 shows in the prior art the relation between pre-emphasis and an OSNR after transmission.

Making an OSNR uniform at the receiving end so as to optimize transmission characteristics is a well-known technique in the prior art. In this technique, the OSNR difference between optical signals, which is calculated by monitoring the OSNR for each optical signal at the receiving end, is fed back to the

transmitting end as a pre-emphasis value, thereby enabling pre-emphasis to be set at the transmitting end. Adjusting an OSNR by directly changing the output power of each optical signal is a general
5 method for setting pre-emphasis.

As a result, if a transmit light spectrum 1, for which no pre-emphasis is set, is transmitted on a transmission line, the OSNR of a receive light spectrum 1, which corresponds to the transmit light
10 spectrum 1, varies greatly. However, if a transmit light spectrum 2, for which pre-emphasis is set, is transmitted on a transmission line, the variance of the OSNR of a receive light spectrum 2, which corresponds to the transmit light spectrum 2, is
15 reduced.

Fig. 3 shows the configuration of a transmitter of the prior art. Fig. 4 shows the configuration of a receiver of the prior art.

First, operations of the transmitter, which has a configuration as shown in Fig. 3, are explained
20 below.

The transmitter has, for each wavelength, a laser diode driver (LD DRIVER) 1201, a laser diode (LD) 1202, an attenuator (ATT) 1203, a coupler (CPL) 1204,
25 a post amplifier (POST AMP) 1205, and a photodiode

(PD) 1208. The laser diode driver 1201 drives the laser diode 1202, while adjusting the output power and wavelength corresponding to each optical signal. The optical signal outputted from the laser diode 1202 is
5 inputted to the post amplifier 1205 via the attenuator 1203 and the coupler 1204, and the optical signal is amplified in the post amplifier 1205. The optical signals, each of which is outputted from the post amplifier 1205, are multiplexed by an arrayed
10 waveguide grating (AWG) 1206, and the multiplexed optical signal is outputted to a transmission line via a coupler 1207.

In the configuration shown in Fig. 3, the coupler 1204 branches part of each optical signal to the
15 photodiode 1208, resulting in part of the optical signal being detected by the photodiode 1208. The detection results are inputted to a CPU 1210. Meanwhile, part of the transmitted optical signal, which is outputted from the AWG 1206 to a transmission
20 line, is branched and inputted to an optical spectrum analyzer 1209 by the coupler 1207. The optical spectrum analyzer 1209 monitors the peak power and wavelength of the transmitted optical signal, and notifies the CPU 1210 of the results. The CPU 1210
25 controls the laser diode driver 1201 and attenuator

1203 based on the output from the photodiode 1207 and optical spectrum analyzer 1209, for each optical signal.

5 Next, operations of the receiver, which has a configuration as shown in Fig. 4, are explained below.

 At the receiver, an optical signal received through a transmission line is inputted via a coupler 1301 to an AWG 1302, where the optical signal is
10 demultiplexed into optical signals of various wavelengths.

 The receiver has, for each wavelength, a filter 1303 for separating an optical signal of a specific wavelength, an inline amplifier (INLINE AMP) 1304, a
15 dispersion compensating fiber (DCF) 1305, an optical-electrical converter (O/E) 1306, a forward error corrector (FEC) 1307, and an electric-signal demultiplexer (DEMUX) 1308.

 In the configuration according to the prior art,
20 as shown in Fig. 4, the coupler 1301 branches part of a received optical signal into an optical spectrum analyzer 1309. The optical spectrum analyzer 1309 measures the OSNR for each optical signal received, and notifies a CPU 1310 of the results. The CPU 1310
25 feeds back the OSNR differences between optical

signals received, as a pre-emphasis value, to the transmitting end by using a prescribed communications line.

5 However, in the transmitter, which has a configuration as shown in Fig. 3, the CPU 1210 receives the above-mentioned pre-emphasis value, and controls the laser diode driver 1201 for each optical signal, based on the pre-emphasis value.

10 As stated above, the prior art is aware of an OSNR so as to optimize transmission characteristics, and makes uniform only an OSNR used for all optical signals. Usually, the most important factor of the transmission characteristics in digital transmission is a transmission error rate. Therefore, it is
15 important to make uniform a transmission error rate for all optical signals in the optimization of transmission characteristics. However, in the prior art, even if an OSNR is made uniform for all optical signals, the transmission error rate is not
20 necessarily made uniform for all optical signals.

 Thus, with respect to a transmission error rate, the examples of which are a BER and a Q-value, the prior art has a problem, as shown in Fig. 5A, in that even if the OSNR is made uniform for optical signals
25 1, 2 and 3, the transmission error rate does not

become uniform because of the difference of Q-values of the optical signals.

Furthermore, in the prior art, to set pre-emphasis at the transmitting end, the CPU 1210
5 directly changes the output power of the laser diode 1202 by controlling the laser diode driver 1201, for each optical signal. However, this method has a problem in that the setting of pre-emphasis for each optical signal must be repeated, while maintaining the
10 power balance of optical signals, because the peak power of the other optical signals simultaneously change, resulting in the set value of pre-emphasis for each optical signal deviating from a proper value.

15 Summary of the Invention

In view of the above background, the present invention aims at achieving real optimization of transmission characteristics, by making uniform a transmission error rate for all optical signals at the
20 receiving end, based on the adjustment of an OSNR at the transmitting end.

The present invention supposes an apparatus or method for making uniform transmission characteristics in the wavelength division multiplexing optical
25 communications system.

The apparatus according to a first aspect of the present invention has the following configuration.

First, the relation between changes in a signal-to-noise ratio and changes in a transmission error rate at the receiving end is calculated for each optical signal to be wavelength-division-multiplexed.

Next, based on the relation, the signal-to-noise ratio for each optical signal is changed so as to attain a uniform transmission error rate for all optical signals at the receiving end.

The apparatus according to a second aspect of the present invention has the following configuration.

First, for each optical signal to be wavelength-division-multiplexed, the difference between a reference value, which is the value of a signal-to-noise ratio corresponding to the target lower limit of a transmission error rate at the receiving end, and the value of a current signal-to-noise ratio is calculated as a margin.

Next, for each optical signal, a signal-to-noise ratio is controlled so that the margin of the signal-to-noise ratio becomes equal to a prescribed value which is obtained from the margins calculated for the optical signals.

The apparatus according to a third aspect of the

present invention has the following configuration.

First, the initial value of a signal-to-noise ratio is stored for each optical signal to be wavelength-division-multiplexed.

5 Next, for each optical signal, an amplified spontaneous emission noise is superposed on the optical signal so as to gradually reduce the signal-to-noise ratio until a transmission error rate at the receiving end decreases to a target lower limit.

10 When the transmission error rate at the receiving end decreases to the target lower limit, the value of the corresponding signal-to-noise ratio is stored as a target lower limit, for each optical signal.

15 Subsequently, for each optical signal, the difference between the stored initial value and the stored target lower limit is calculated as a margin.

20 Next, for each optical signal, the difference between a prescribed value which is obtained from the margins calculated for the optical signals, and the stored initial value is calculated as the pre-emphasis amount of the signal-to-noise ratio corresponding to the optical signal.

25 Then, for each optical signal, the signal-to-noise ratio is controlled by superposing an amplified spontaneous emission noise corresponding to the pre-

emphasis amount on the optical signal.

Here, the above-mentioned superposition of the amplified spontaneous emission noise on the optical signal is conducted at the transmitting end.

5 Alternatively, it is possible to provide the apparatus with a configuration in which the above-mentioned superposition is conducted at the receiving end.

In the above-mentioned configuration of the invention, the prescribed value, which is obtained
10 from the margins for optical signals, can be the average of the margins for the optical signals.

In the above-mentioned configuration of the invention, either a Q-value or a bit error rate can be used as a transmission error rate.

15 According to the above-mentioned configurations of the invention, it is possible to achieve real optimization of transmission characteristics, because the relation between changes in a signal-to-noise ratio and changes in a transmission error rate at the
20 receiving end is calculated for each optical signal so as to optimize transmission characteristics, and based on the calculation results, the signal-to-noise ratio for each optical signal is changed so as to make uniform a transmission error rate for all optical
25 signals at the receiving end.

Brief Description of Drawings

From the accompanying drawings and the description of the preferred embodiments of the present invention, the other objects or
5 characteristics of the present invention can be easily understood by persons having ordinary skill in the art.

Fig. 1 is a diagram showing the causes of deterioration in transmission characteristics;

10 Fig. 2 shows the relation between pre-emphasis and a SNR after transmission in the prior art;

Fig. 3 shows the configuration of a transmitter in the prior art;

15 Fig. 4 shows the configuration of a receiver in the prior art;

Fig. 5A shows the relation between a Q-value (transmission characteristics) and an OSNR in the prior art;

20 Fig. 5B shows the relation between a Q-value (transmission characteristics) and an OSNR according to a preferred embodiment of the present invention;

Fig. 6 shows the configuration of a transmitter according to a preferred embodiment of the present invention;

25 Fig. 7 shows the configuration of a receiver

according to a preferred embodiment of the present invention;

Fig. 8 is a flowchart showing the operations according to a preferred embodiment of the present invention;

Figs. 9A and 9B show the variable range of an OSNR at the transmitting end;

Fig. 10 shows the pre-emphasis value of an optical signal at the transmitting end;

Fig. 11 shows the setting of pre-emphasis for an optical signal at the transmitting end;

Fig. 12 shows the configuration of a receiver according to another preferred embodiment of the present invention (the setting of pre-emphasis at the receiver);

Fig. 13 shows the relation between an eye-pattern and a noise distribution; and

Fig. 14 shows an error rate in the case of a variable discrimination level.

Description of the Preferred Embodiments

With reference to the drawings, detailed explanations of each preferred embodiment of the present invention are given below.

Figs. 6 and 7 show the configuration of a

transmitter and a receiver, respectively, according to a preferred embodiment of the present invention.

Fig. 6 shows a laser diode driver 101, a laser diode 102, a coupler 103, a post amplifier 107, an AWG 109, a photodiode 110, a coupler 111, and an optical spectrum analyzer 112, which have the same functions as the matching components of the prior art, 1201, 1202, 1204, 1205, 1206, 1208, 1207, and 1209, respectively, as shown in Fig. 3.

Fig. 7 shows a coupler 201, an AWG 202, a filter 203, an inline amplifier 204, a dispersion compensating fiber 205, an optical-electrical converter 207, a forward error corrector 208, an electric-signal demultiplexer 209, and an optical spectrum analyzer 213, which have the same functions as the matching components of the prior art, 1301-1309, respectively, as shown in Fig. 4.

It is clear, from Fig. 5B, that an ideal factor for transmission characteristics, such as a Q-value and a BER, changes as an OSNR changes, for each optical signal. This preferred embodiment includes the following features, which are the characteristics of the present invention: the relation between changes in an OSNR and changes in a Q-value or BER at the receiving end is calculated based on the relation as

shown in Fig. 5B, so as to optimize transmission characteristics for each optical signal; and based on the calculation results, the OSNR for each optical signal is changed so as to make uniform the Q-value or BER for all optical signals at the receiving end.

More specifically, in this preferred embodiment, which has the configuration as shown in Figs. 6 and 7, the difference between a reference value, which is the value of an OSNR at the transmitting end that corresponds to the target lower limit of a Q-value or BER at the receiving end, and the value of a current OSNR at the transmitting end is calculated as a margin for each optical signal. Then, the average of the margins for all optical signals are calculated, and pre-emphasis for the OSNR at the transmitting end is set for each optical signal so that the margin of the OSNR for each optical signal equals the average value. Note that in this process for controlling the OSNR for each optical signal, the amount of change in a Q-value or BER at the receiving end, per unit amount of change in an OSNR at the transmitting end, is assumed to be approximately uniform.

In the case of the measurement of a Q-value at the receiving end, part of each optical signal received, which is separated by the coupler 206 as

shown in Fig. 7, is inputted to a Q monitor (Q MON) 210, and is measured there.

In the case of the measurement of a BER at the receiving end, the output from the forward error corrector 208, as shown in Fig. 7, is inputted to a BER measuring unit 211, and is measured there.

In setting pre-emphasis at the transmitting end, as shown in Fig. 6, the output from the laser diode 102 assigned to each optical signal and an amplified spontaneous emission noise (ASE), outputted from an ASE output unit 104, are multiplexed at a coupler 106, and the output power of the amplified spontaneous emission noise is changed by an attenuator 105. In this case, the multiplexed optical signal is amplified by the post amplifier 107, and then inputted to the AWG 109 via a narrow-band filter 108. Therefore, pre-emphasis can be set for all optical signals simultaneously, without losing the balance of power between the optical signals.

An explanation of specific operations required for performing the above procedure is given below.

First, the premise of the above function is explained.

It is difficult to measure an OSNR at the stage following to the narrow-band filter 108, since the

measurement point of an amplified spontaneous emission noise cannot be set easily. Therefore, the OSNR for each optical signal is measured at the stage preceding the narrow-band filter 108.

5 The power and wavelength of the output from the laser diode 102 is monitored by the photodiode 110. Based on the monitoring results, a CPU 113 corrects the set value of the above-mentioned output power and wavelength, by performing a feedback to the laser
10 diode driver 101. The output power of the amplified spontaneous emission noise outputted from the ASE output unit 104 is maintained so it is constant by an APC (automatic power control), and the wavelength characteristics of the amplified spontaneous emission
15 noise are flat. Then, the CPU 113 calculates and stores the initial value of an OSNR, E_{s1} , which is the ratio of the output power from the laser diode 102 that is detected by the photodiode 110 to the output power of an amplified spontaneous emission noise that
20 is determined by the APC in the ASE output unit 104. In addition, the CPU 113 calculates the amount of change in an OSNR, as the amount of adjustment to be conducted by the attenuator 105.

25 Fig. 8 is a flowchart showing operations for achieving the above-mentioned function according to

the preferred embodiment of the present invention, and Figs. 9A/B-11 are explanatory diagrams thereof. Note that the case in which a Q-value is monitored at the receiving end is assumed in the following explanations.

5 First, as a CPU 212 of the receiver (Fig. 7) continuously monitors a Q-value for each optical signal via the Q monitor 210 (Fig. 7), the CPU 212 orders the transmitter to reduce an OSNR, by using a prescribed communications channel (step 301).

10 When receiving the above order, the CPU 113 of the transmitter (Fig. 6) reduces the OSNR for each optical signal by directing the attenuator 105 to increase the amount of attenuation (step 302).

15 The CPU 212 of the receiver determines, for each optical signal, whether the Q-value measured via the Q monitor 210 has decreased to the target lower limit (see Fig. 9B)(step 303).

20 If NO is determined in step 303, the CPU 212 of the receiver repeats the operations in steps 301 and 302 for each optical signal.

As stated above, the OSNR is reduced for each optical signal by gradually increasing an amplified spontaneous emission noise (ASE) to be superposed on the optical signal at the transmitting end, as shown

25

in Fig. 9A, until the BER or Q-value at the receiving end decreases to the target lower limit, as shown in Fig. 9B.

5 If YES is determined in step 303, the CPU 212 of the receiver orders the transmitter, by using the prescribed communications channel, to stop changing the OSNR, and restores the value of the OSNR to its initial value for each optical signal (step 304).

10 In response, the CPU 113 of the transmitter executes a series of processes as follows (step 305).

First, when receiving the above-mentioned order, the CPU 113 stops the OSNR changing at a current value E_{b1} for each optical signal, and calculates the amount of change in an OSNR, E_1 , as a margin, according to the following equation:

15 [Equation 1]

$$E_1 = |E_{a1} - E_{b1}|$$

Next, after completing the calculation of the margin of the OSNR for each optical signal according to Equation 1, the CPU 113 calculates an average E_{AVG} of the margins for all optical signals according to the following equation:

20

[Equation 2]

$$E_{AVG} = (E_1 + E_2 + \dots + E_n)$$

(n : the number of optical signals)

Subsequently, for each optical signal, the CPU 113 calculates a pre-emphasis value $\Delta E_1 \sim \Delta E_n$, as given by the following equations, which is the difference between the average E_{AVG} , as calculated according to Equation 2, and the margin of the OSNR for each optical signal, as calculated according to Equation 1 (see Fig. 10):

10 [Equation 3]

$$\begin{aligned} \Delta E_1 &= E_{AVG} - E_{a1} \\ \Delta E_2 &= E_{AVG} - E_{a2} \\ &\vdots \\ \Delta E_n &= E_{AVG} - E_{an} \end{aligned}$$

The CPU 113 controls the OSNR for each optical signal so that the OSNR equals the average E_{AVG} , by setting, for each optical signal, an amount of attenuation to be performed by the attenuator 105 that corresponds to the pre-emphasis amount $\Delta E_1 \sim \Delta E_n$ as calculated according to Equation 3 (see Fig. 11).

Thereafter, the CPU 113 executes feedback control

by monitoring the output from the optical spectrum analyzer 112 (Fig. 6) so that the OSNR for each optical signal is exactly equal to E_{avg} (step 306).

5 The above-mentioned operations can be executed any time during systems operation. Since the target lower limit of the Q-value for each optical signal is set at a level which enables each optical signal to be transmitted without difficulty, none of the signals is interrupted even if the above operations are
10 executed during systems operation. Therefore, pre-emphasis can be set according to customer demand, thereby allowing various operation forms, in which the setting of pre-emphasis is conducted, for example, regularly once a year, after repairs in the case of
15 a problem with the system, and so on.

Fig. 12 shows the configuration of a receiver according to another preferred embodiment of the present invention.

20 In this configuration, the control of an OSNR is executed not within a transmitter but within the receiver, since each function, corresponding to 104-106 and 108 of the transmitter according to the preferred embodiment as shown in Fig. 6, is located in the receiver as shown in Fig. 12.

25 In this case, the OSNR for each optical signal

is measured by the optical spectrum analyzer 213, to which the output from the coupler 201 is inputted, and the peak power of each optical signal is measured by a photodiode 702, to which the output from the coupler 701 is inputted. Based on the measured OSNR and peak power, the CPU 212 determines the amount of attenuation required by the attenuator 105 (a pre-emphasis value), and adjusts the OSNR for each optical signal.

10 The explanation of the operation principle of the Q monitor 210, as shown in Fig. 7 or 12, is given below.

After converting an optical signal into an electric signal, the Q monitor 210 measures the distribution of a noise by changing the distinguished value of a signal at each of the mark side and the space side on a eye-pattern, and measures an error rate at each of the mark side and the space side. Then the Q monitor 210 approximates each of two error rate curves, obtained as a result of the measurement, to a line, and calculates a Q-value by obtaining the intersection point of the two lines representing characteristics.

20 The relation between the eye-pattern and noise distribution of a signal can be shown by a model as

25

shown in Fig. 13, wherein: $P_1(X)$ and $P_0(X)$ is a noise probability distribution function at the mark side and space side, respectively; μ_1 and μ_0 are the mean values of each probability distribution, and represent
 5 a signal level; and σ_1 and σ_0 are the variances of each probability distribution, and represent the RMS value of a noise.

Here, a Q-value is given by the following equations:

10 [Equation 4]

$$Q = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{(\sigma_0 + \sigma_1)}$$

$$Q_{dB} = 20\text{LOG}_{10}\left\{\frac{|\mu_1 - \mu_0|}{(\sigma_0 + \sigma_1)}\right\}$$

Next, the method for measuring μ_1 , μ_0 , σ_0 , and σ_1 is explained below.

The correlation between the BER at the mark side,
 15 and μ_1 , σ_1 and D_1 (a discrimination level) is given by the following approximation equation:

[Equation 5]

$$\frac{(\mu_1 - D_1)}{\sigma_1} = \phi^{-1}(X) \approx 1.192 - 0.6681X - 0.0162X^2$$

$$X = \text{LOG}_{10}(\text{BER})$$

Likewise, the following equation is valid for the space side:

[Equation 6]

$$\frac{(D_1 - \mu_0)}{\sigma_0} = \phi^{-1}(X) \approx 1.192 - 0.6681X - 0.0162X^2$$

$$X = \text{LOG}_{10}(\text{BER})$$

5

The values of BER_0' , BER_0'' , BER_1' , BER_1'' , D_0' , D_0'' , D_1' , and D_1'' are obtained, after a BER is obtained at two points on each of the mark side and the space side by changing a discrimination level as shown in Fig. 14. From these obtained values, μ_0 , μ_1 , σ_0 , and σ_1 can be calculated as shown by the following equation:

10

[Equation 7]

$$\begin{aligned}
\sigma_1 &= \frac{(D_1'' - D_1')}{\{\phi^{-1}(X_1') - \phi^{-1}(X_1'')\}} \\
\mu_1 &= \frac{\{D_1''\phi^{-1}(X_1') - D_1'\phi^{-1}(X_1'')\}}{\{\phi^{-1}(X_1') - \phi^{-1}(X_1'')\}} \\
\sigma_0 &= \frac{(D_0'' - D_0')}{\{\phi^{-1}(X_0') - \phi^{-1}(X_0'')\}} \\
\mu_0 &= \frac{\{D_0''\phi^{-1}(X_0') - D_0'\phi^{-1}(X_0'')\}}{\{\phi^{-1}(X_0') - \phi^{-1}(X_0'')\}}
\end{aligned}$$

From these calculation results and Equation 4, a Q-value can be calculated.

CLAIMS:

1. An apparatus for making transmission characteristics uniform in a wavelength division multiplexing optical communications system, comprising:

relation calculating means (113) for calculating a relation between changes in a signal-to-noise ratio and changes in a transmission error rate at a receiving end, for each optical signal to be wavelength-division-multiplexed; and

signal-to-noise ratio changing means (113) for changing the signal-to-noise ratio for each optical signal so as to make the transmission error rate uniform at the receiving end for the optical signals, based on the relation.

2. The apparatus according to claim 1, wherein said transmission error rate is either a Q-value or bit error rate.

3. A method for making transmission characteristics uniform in a wavelength division multiplexing optical communications system, comprising the steps of:

calculating a relation between changes in a signal-to-noise ratio and changes in a transmission error rate at a receiving end, for each optical signal to be wavelength-division-multiplexed; and

5 changing the signal-to-noise ratio for each optical signal so as to make the transmission error rate uniform at the receiving end for the optical signals, based on the relation.

10 4. The method according to claim 3, wherein said transmission error rate is either a Q-value or bit error rate.

15 5. An apparatus for making transmission characteristics uniform in a wavelength division multiplexing optical communications system, comprising:

20 margin calculating means (113) for calculating a difference between a reference value and a value of a current signal-to-noise ratio as a margin for each optical signal to be wavelength-division-multiplexed, the reference value being a value of a signal-to-noise ratio corresponding to a target lower limit of a transmission error rate at a receiving end; and

25 signal-to-noise ratio control means (113) for

controlling the signal-to-noise ratio for each optical signal so as to keep the signal-to-noise ratio at a prescribed value which is determined by the margins calculated by the margin calculating means for the optical signals.

6. The apparatus according to claim 5, wherein said prescribed value which is determined by the margins calculated for the optical signals is an average of the margins calculated for the optical signals.

7. The apparatus according to claim 5, wherein said transmission error rate is either a Q-value or bit error rate.

8. A method for making transmission characteristics uniform in a wavelength division multiplexing optical communications system, comprising the steps of:

calculating a difference between a reference value and a value of a current signal-to-noise ratio as a margin for each optical signal to be wavelength-division-multiplexed, the reference value being a value of a signal-to-noise ratio corresponding to a

target lower limit of a transmission error rate at a receiving end; and

controlling the signal-to-noise ratio for each optical signal so as to keep the signal-to-noise ratio
5 at a prescribed value which is determined by the margins calculated for the optical signals.

9. The method according to claim 8, wherein
said prescribed value which is determined by the
10 margins calculated for the optical signals is an average of the margins calculated for the optical signals.

10. The method according to claim 8, wherein
15 said transmission error rate is either a Q-value or bit error rate.

11. An apparatus for making transmission characteristics uniform in a wavelength division
20 multiplexing optical communications system, comprising:

first storing means for storing an initial value of a signal-to-noise ratio for each optical signal to be wavelength-division-multiplexed;
25 signal-to-noise ratio reducing means for

gradually reducing the signal-to-noise ratio for each optical signal by superposing an amplified spontaneous emission noise on the optical signal until a transmission error rate at a receiving end decreases to a target lower limit;

second storing means for storing a value of the signal-to-noise ratio at a time at which the transmission error rate at the receiving end decreases to the target lower limit, the value of the signal-to-noise ratio being stored as a target lower limit for each optical signal;

margin calculating means for calculating an amount of a change from the initial value stored in the first storing means to the target lower limit stored in the second storing means, the amount of the change being calculated as a margin for each optical signal;

pre-emphasis value calculating means for calculating a difference between a prescribed value which is determined by the margins calculated by the margin calculating means for the optical signals and the initial value stored in the first storing means, the difference being calculated as a pre-emphasis value of the signal-to-noise ratio for each optical signal; and

signal-to-noise ratio control means for
controlling the signal-to-noise ratio for each optical
signal by superposing an amplified spontaneous
emission noise corresponding to the pre-emphasis value
5 on the optical signal.

12. The apparatus according to claim 11,
wherein

said superposition of the amplified spontaneous
10 emission noise on the optical signal is conducted at
a transmitting end.

13. The apparatus according to claim 11,
wherein

15 said superposition of the amplified spontaneous
emission noise on the optical signal is conducted at
the receiving end.

14. The apparatus according to claim 11,
20 wherein

said prescribed value which is determined by the
margins calculated for the optical signals is an
average of the margins calculated for the optical
signals.

15. The apparatus according to claim 11,
wherein

said transmission error rate is either a Q-value
or bit error rate.

5

16. A method for making transmission
characteristics uniform in a wavelength division
multiplexing optical communications system, comprising
the steps of:

10 storing an initial value of a signal-to-noise
ratio for each optical signal to be wavelength-
division-multiplexed;

gradually reducing the signal-to-noise ratio for
each optical signal by superposing an amplified
15 spontaneous emission noise on the optical signal until
a transmission error rate at a receiving end decreases
to a target lower limit;

storing a value of the signal-to-noise ratio at
a time at which the transmission error rate at the
20 receiving end decreases to the target lower limit, the
value of the signal-to-noise ratio being stored as a
target lower limit for each optical signal;

calculating an amount of a change from the stored
initial value to the stored target lower limit as a
25 margin for each optical signal;

calculating a difference between a prescribed value which is determined by the margins calculated for the optical signals and the stored initial value, the difference being calculated as a pre-emphasis value of the signal-to-noise ratio for each optical
5 signal; and

controlling the signal-to-noise ratio for each optical signal by superposing an amplified spontaneous emission noise corresponding to the pre-emphasis value
10 on the optical signal.

17. The method according to claim 16, wherein said superposition of the amplified spontaneous emission noise on the optical signal is conducted at
15 a transmitting end.

18. The method according to claim 16, wherein said superposition of the amplified spontaneous emission noise on the optical signal is conducted at
20 the receiving end.

19. The method according to claim 16, wherein said prescribed value which is determined by the margins calculated for the optical signals is an
25 average of the margins calculated for the optical

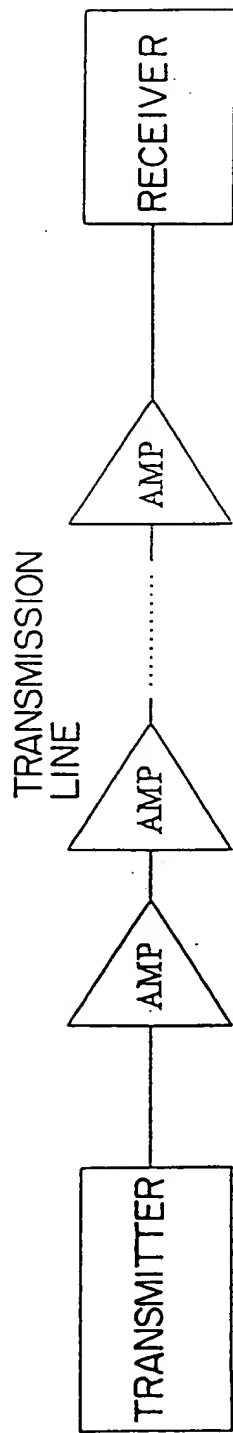
signals.

20. The method according to claim 16, wherein
said transmission error rate is either a Q-value
5 or bit error rate.

ABSTRACT

AN APPARATUS AND METHOD FOR MAKING TRANSMISSION
CHARACTERISTICS UNIFORM IN A WAVELENGTH DIVISION
5 MULTIPLEXING OPTICAL COMMUNICATIONS SYSTEM

In setting pre-emphasis at the transmitting end,
each optical signal outputted from a laser diode and
an amplified spontaneous emission noise outputted from
10 an ASE output unit are multiplexed at a coupler, and
the output power of the amplified spontaneous emission
noise, at that time, is changed by an attenuator. In
this case, the difference between a reference value,
which is the value of an OSNR corresponding to the
15 target lower limit of a Q-value at the receiving end,
and the value of a current OSNR is calculated as a
margin. Then, the attenuator is controlled so that
the margin of an OSNR becomes equal to the average of
the margins for all optical signals.



< TRANSMITTER >

- TRANSMIT WAVEFORM
- DIFFERENCE OF NON-LINEAR EFFECT DUE TO BALANCE OF POWER BETWEEN OPTICAL SIGNALS

< TRANSMISSION LINE >

- NON-LINEAR EFFECT
- FIBER DISPERSION

< RECEIVER >

- SETTING OF DCF (DISPERSION COMPENSATING FIBER)
- SETTING OF RECEIVING POWER OF OPTICAL SIGNAL
- BAND OF RECEIVER

FIG. 1 PRIOR ART

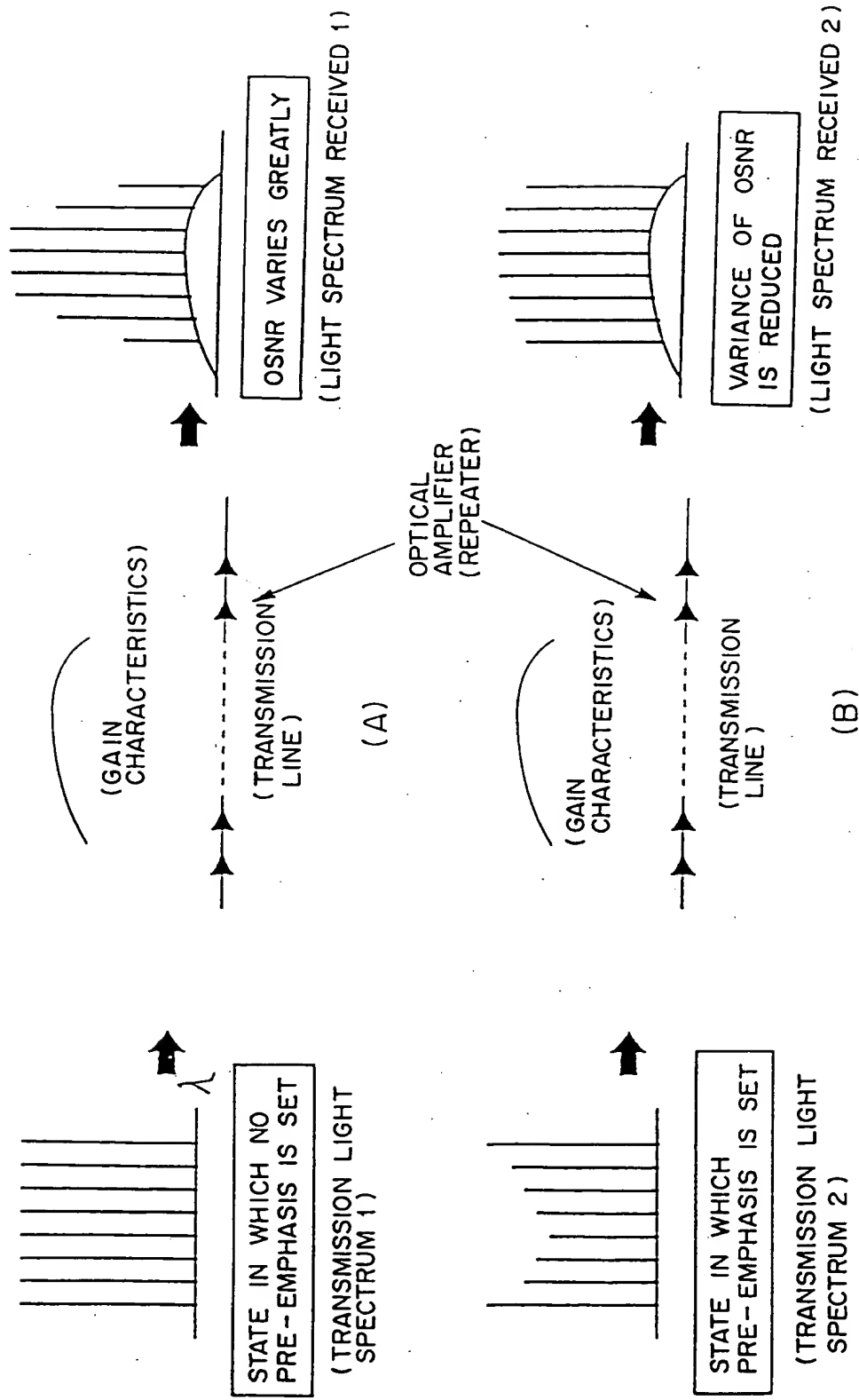


FIG. 2 PRIOR ART

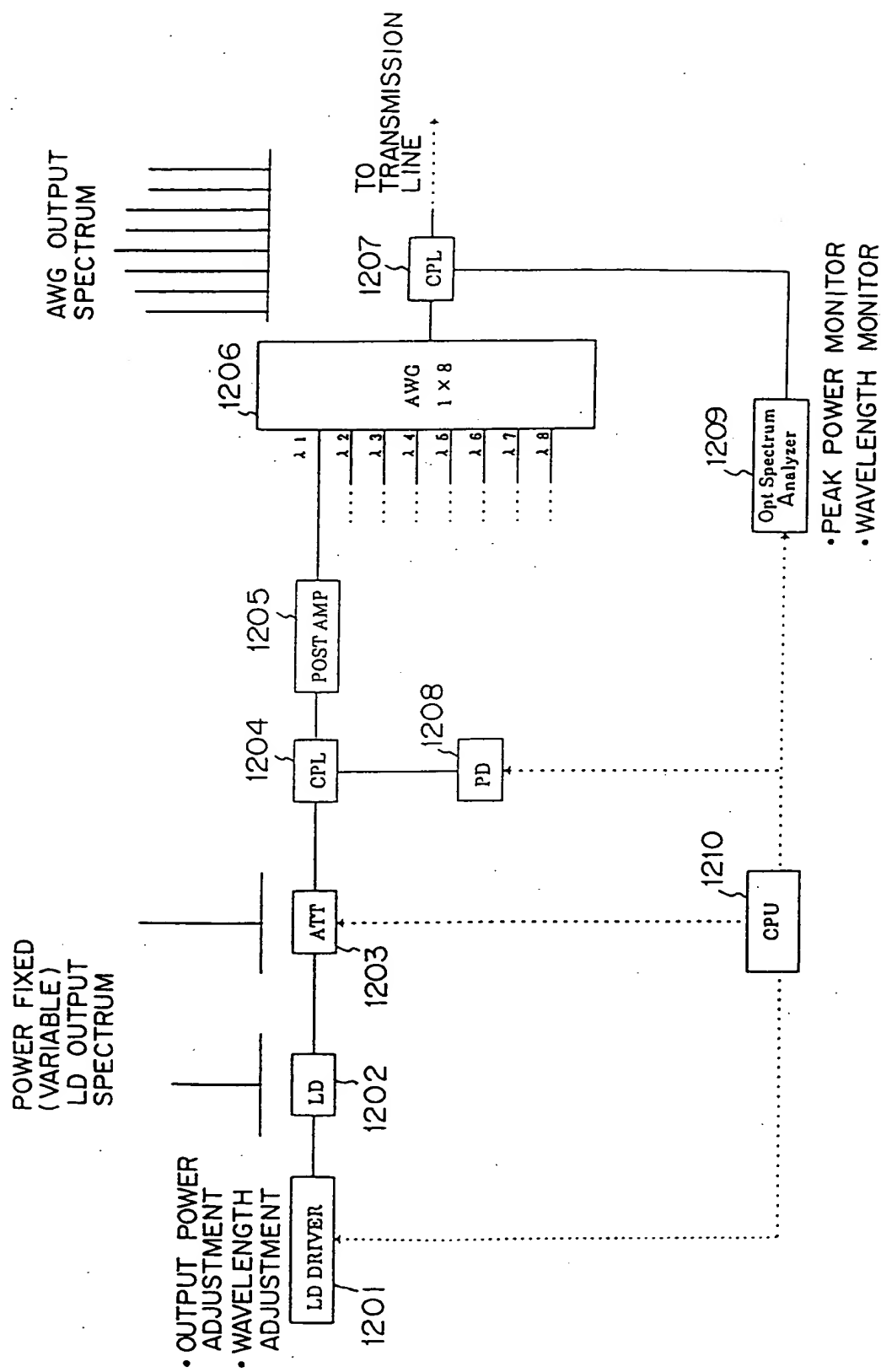


FIG. 3 PRIOR ART

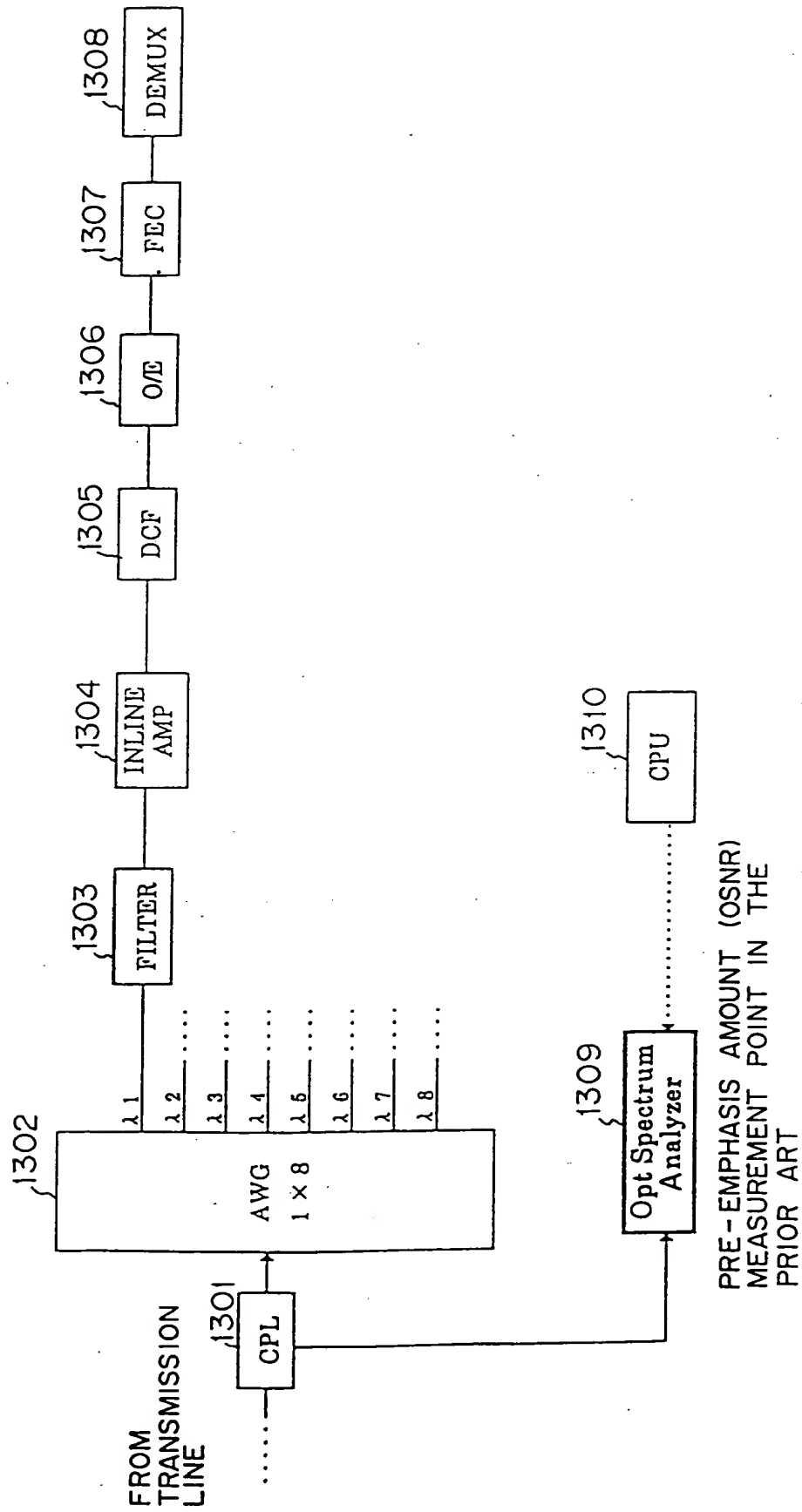


FIG. 4 PRIOR ART

PRIOR ART

LEVELING OF OSNR



PRESENT INVENTION

LEVELING OF
TRANSMISSION
CHARACTERISTICS

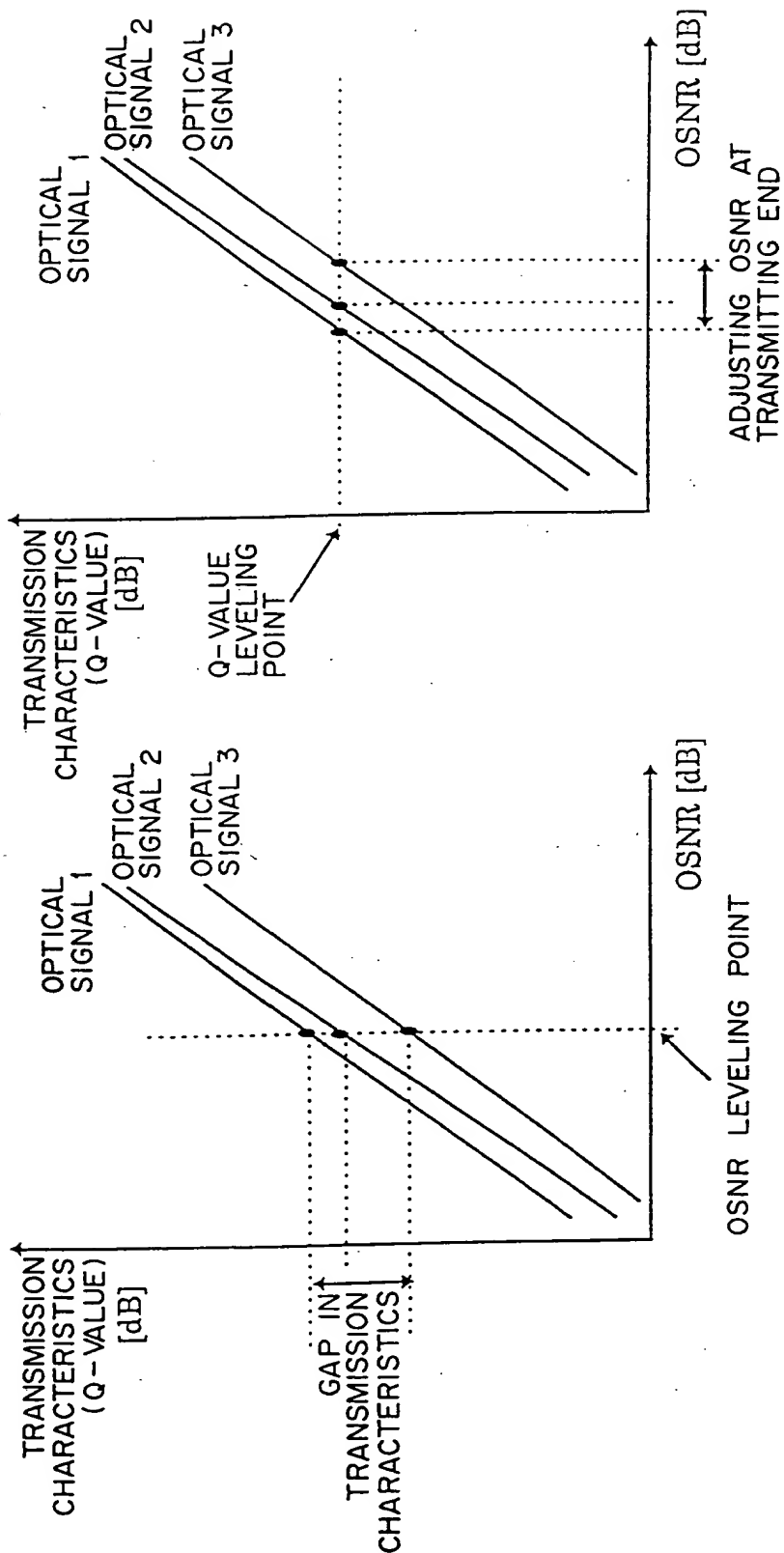


FIG. 5A

FIG. 5B

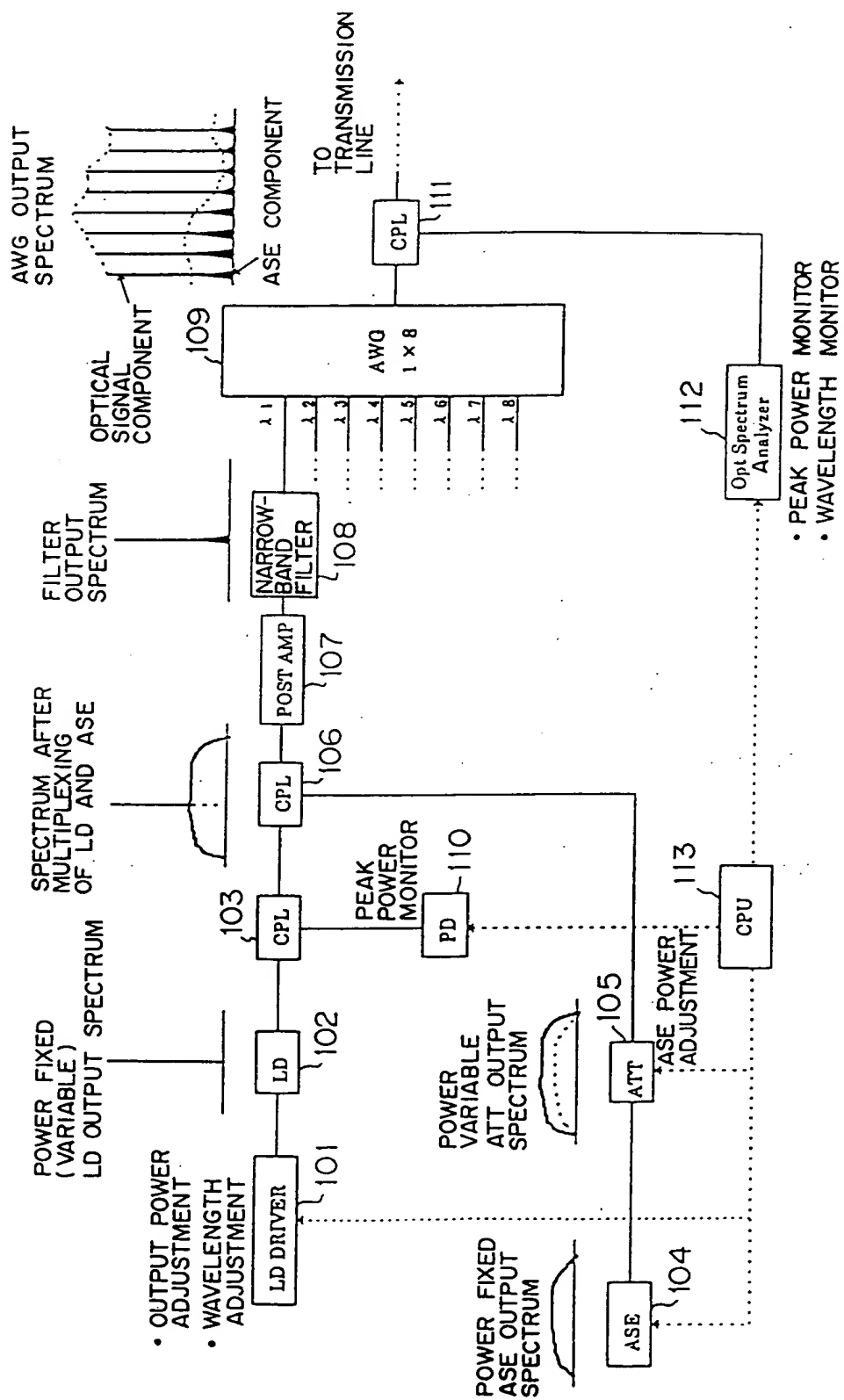


FIG. 6

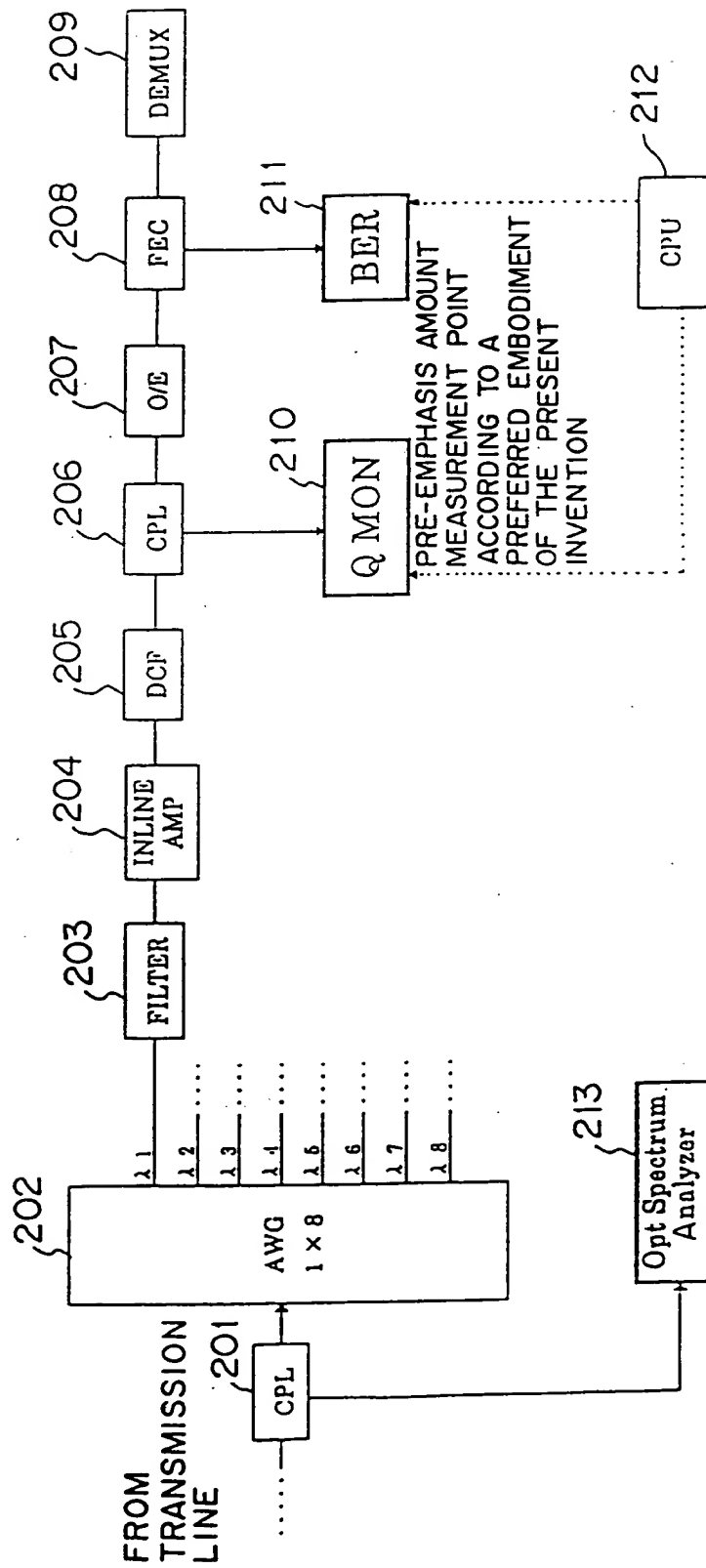


FIG. 7

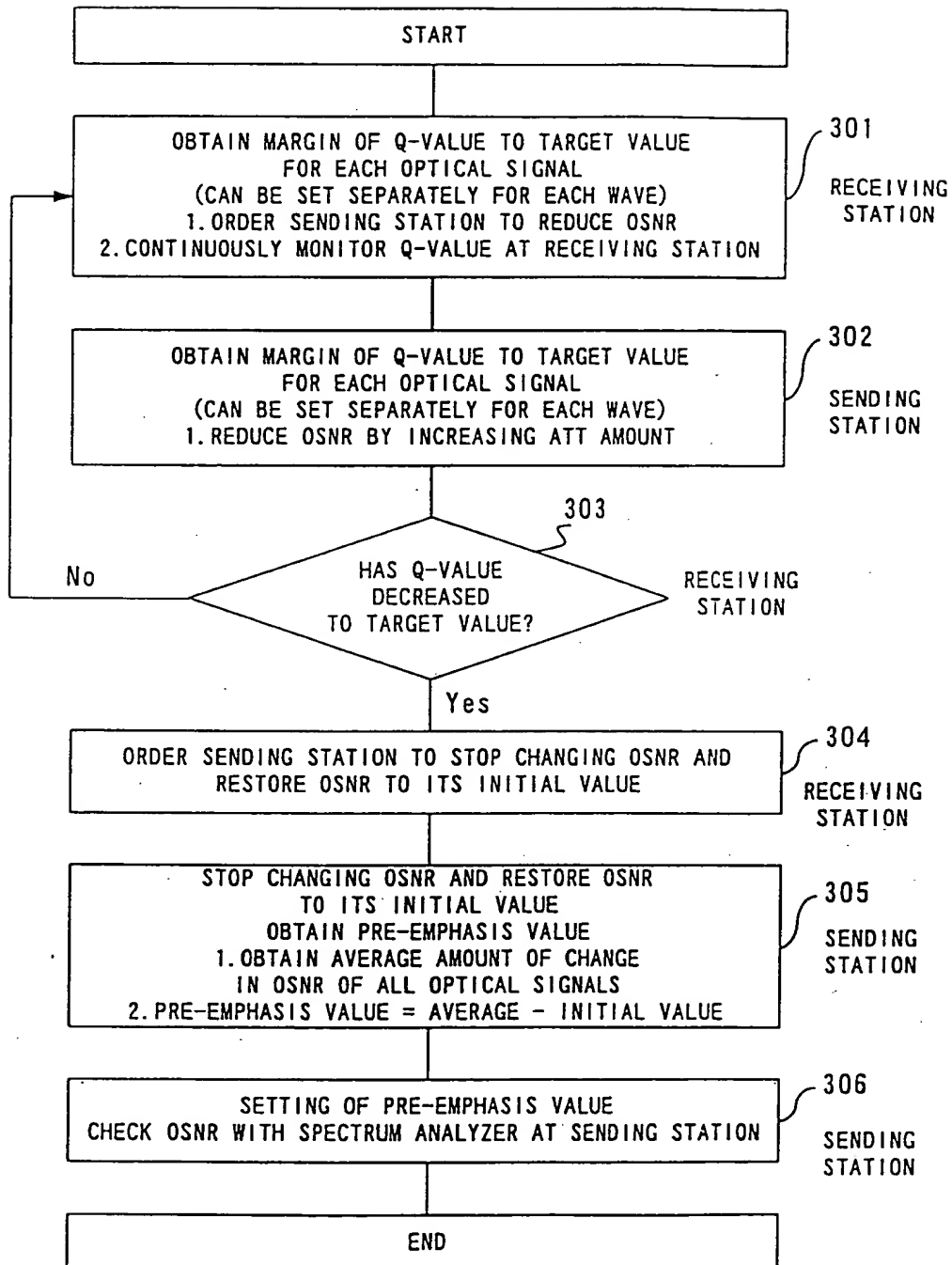


FIG. 8

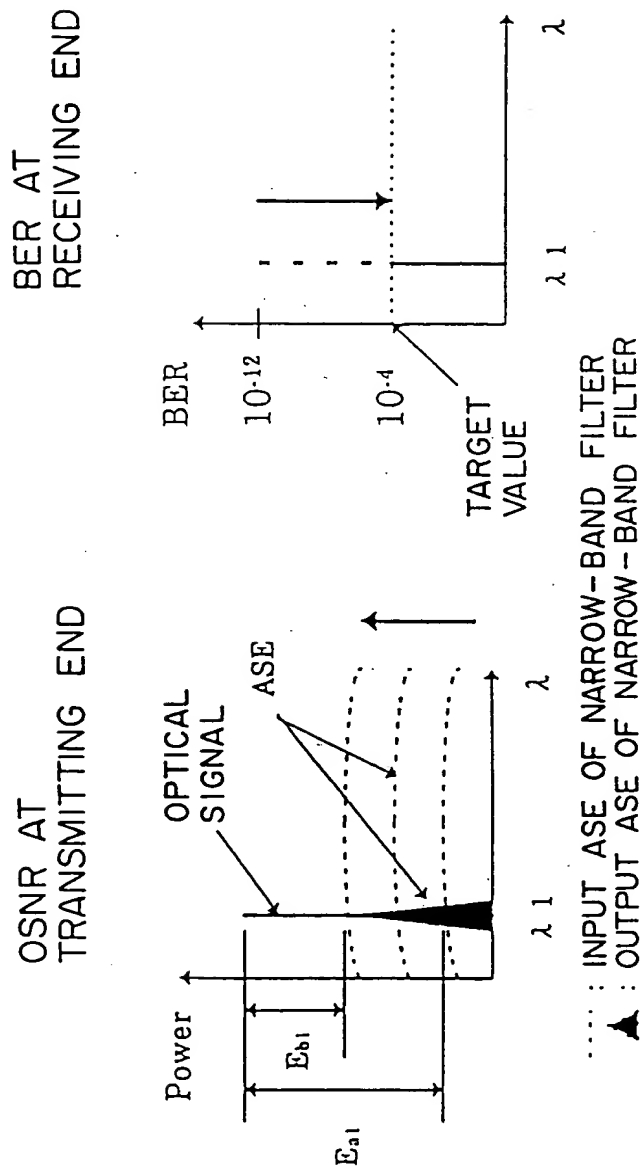


FIG. 9A

FIG. 9B

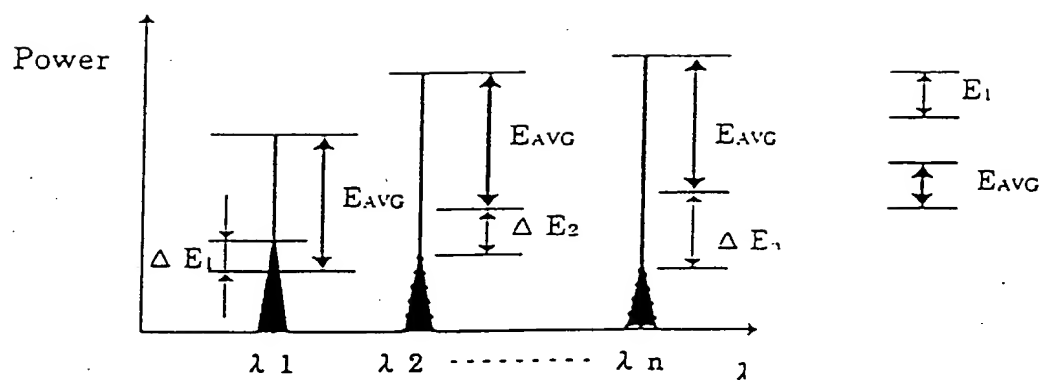


FIG. 10

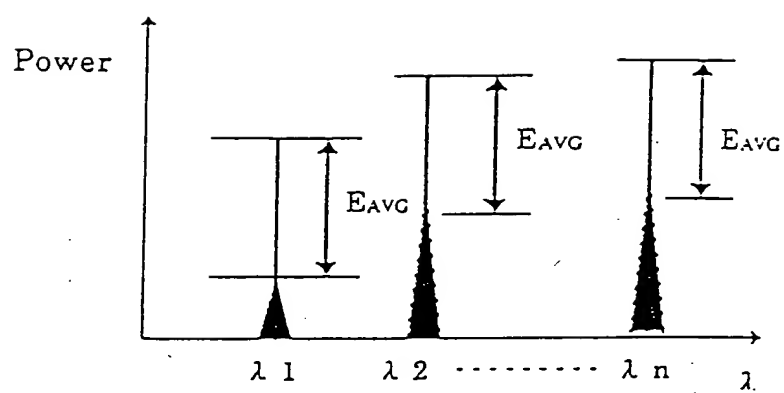


FIG. 11

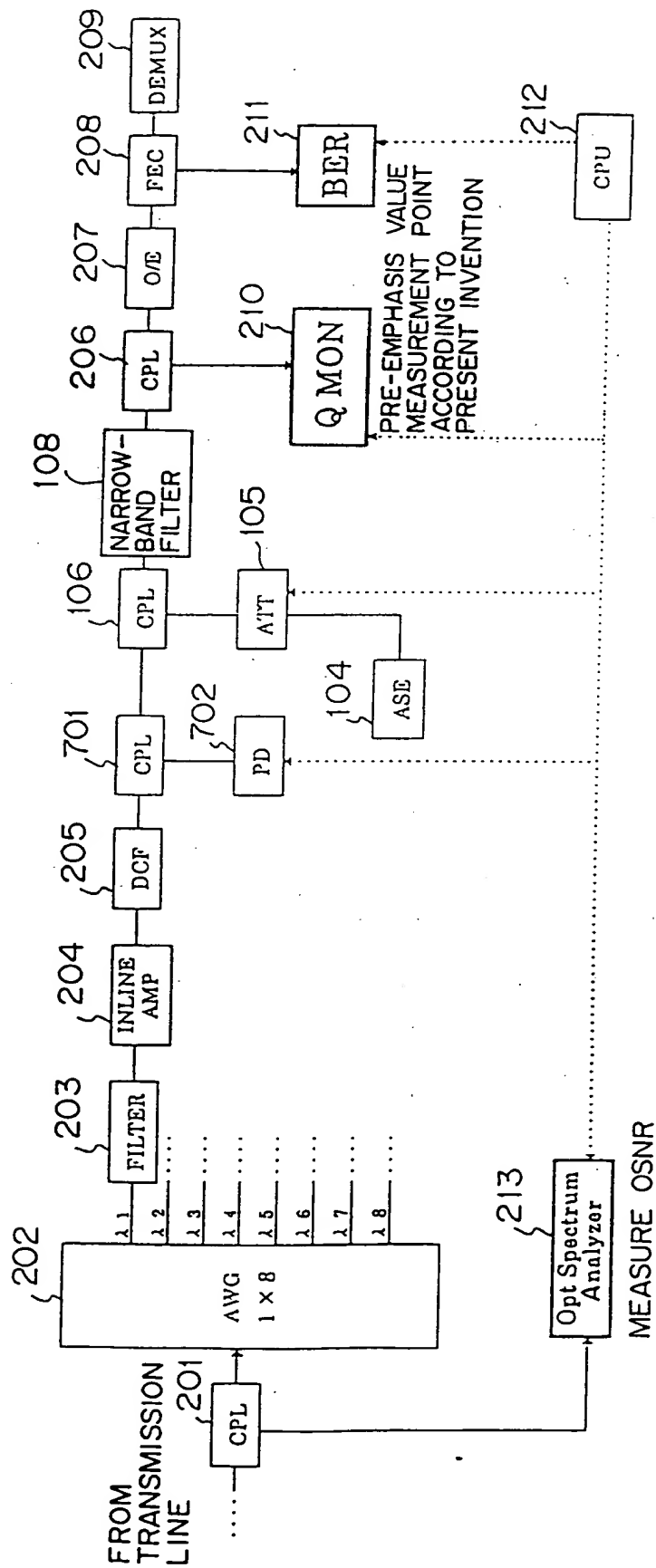


FIG. 12

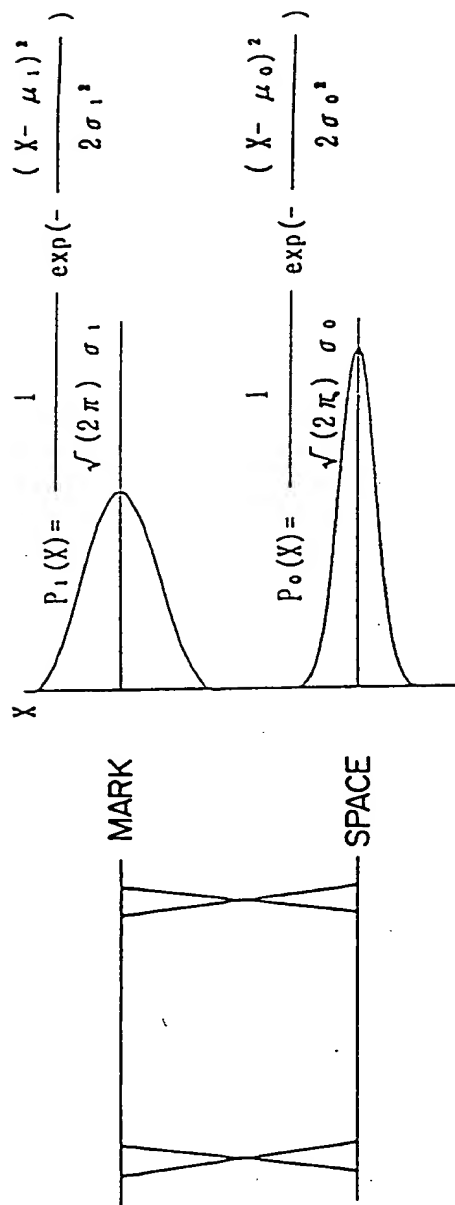


FIG. 13

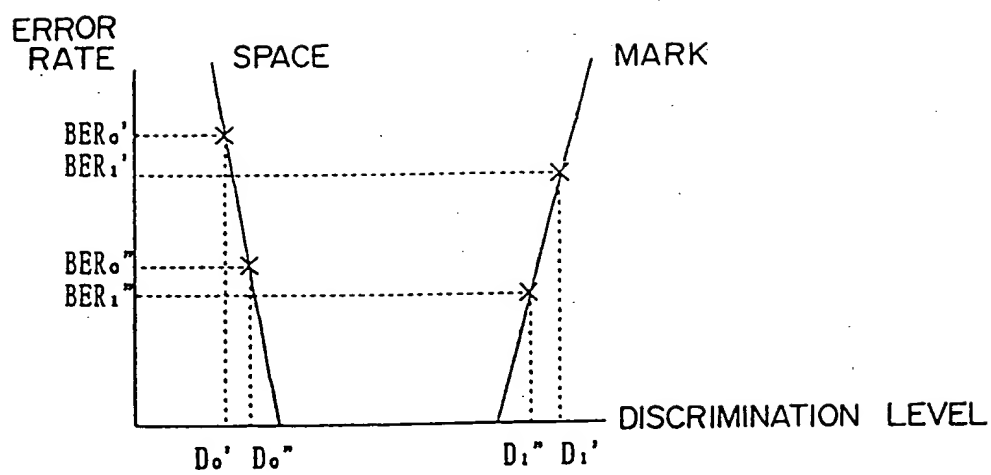


FIG. 14